

СВЧ и КР



**Кафедра сверхвысокочастотной и
квантовой радиотехники**

В.И. Ефанов

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ
ЛИНИЙ СВЯЗИ**

Учебно-методическое пособие для выполнения курсового проекта
по дисциплине «Оптические линии связи
и пассивные компоненты ВОЛС»

2012

Министерство образования и науки Российской Федерации
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
(СВЧ и КР)

В.И. Ефанов

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ
ЛИНИЙ СВЯЗИ**

Учебно-методическое пособие для выполнения курсового проекта
по дисциплине «Оптические линии связи
и пассивные компоненты ВОЛС» для студентов направлений подготовки
Радиотехника – 210300, Телекоммуникации - 210400

Томск 2012

Рецензент: зав. каф. СВЧ и КР Шарангович С.Н.

Ефанов В.И.

Проектирование волоконно-оптических линий связи. Учебно-методическое пособие для выполнения курсового проекта по дисциплине «Оптические линии связи и пассивные компоненты ВОЛС»– Томск: ТУСУР, 2012.– 101с.

В пособии приведены сведения, которыми студенты могут руководствоваться при выполнении курсовых проектов. Выбор и обоснование типа ОВ, расчет его основных характеристик, выбор и обоснование трассы и способа прокладки ОК, описание конструкции ОК.

Даны рекомендации по расчету надежности и обоснование затрат на строительство ВОЛС. Приведен необходимый справочный материал, опирающийся на рекомендации МСЭ-Т.

Пособие предназначено для студентов всех форм обучения, изучающих дисциплину «Оптические направляющие среды и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи» по специальности 210401 «Физика и техника оптической связи», а также может быть полезно студентам специальностей 200700 «Радиотехника» и 201100 «Радиосвязь, радиовещание и телевидение».

Содержание

1 Цели и задачи курсового проекта.....	6
2 Тематика курсового проекта.....	7
3 Задание на курсовой проект и его анализ.....	7
4 Указание по составлению и оформлению пояснительной записки.....	8
5 Порядок проектирования ВОЛС.....	9
6 Методические указания к выполнению курсового проекта.....	10
6.1 Выбор трассы и способа прокладки линии связи.....	10
6.2 Определение числа каналов и скорости передачи.....	11
6.3 Определение числа ОВ в ОК.....	14
6.4 Расчет передаточных характеристик оптического волокна.....	15
Расчет затухания в ОВ.....	18
Пропускная способность.....	22
Расчет дисперсии.....	22
6.5 Выбор конструкции ОК.....	25
6.6 Выбор передающего и приёмного оптических модулей.....	27
6.6.1 Передающий оптический модуль (ПОМ).....	27
6.6.2 Приёмный оптический модуль (ПрОМ).....	32
6.7 Пассивные компоненты и их характеристики.....	33
6.8 Расчет энергетического запаса системы.....	35
6.9 Определение длины регенерационного участка.....	37
6.10 Методы увеличения пропускной способности.....	39
6.10.1 Компенсация дисперсии.....	39
6.10.2 Оптические усилители.....	42
6.10.3 Применение WDM устройств.....	44
7 Расчет надежности ВОЛС.....	49
7.1 Требования по надежности для российских волоконно-оптических линий связи.....	51
8 Экономический расчет ВОЛС.....	53
8.1 Прокладка в грунт.....	54
8.1.1 Заработная плата.....	55
8.1.2 Затраты на работы сторонних организаций.....	55
8.1.3 Материалы, оборудование, комплектующие изделия.....	56
8.1.4 Прочие расходы.....	58
8.1.5 Стоимость каналоклометра.....	58
8.2 Прокладка ОК через водную преграду.....	58
8.2.1 Смета на строительство.....	59
8.2.2 Затраты на работы сторонних организаций.....	60
8.2.3 Материалы, оборудование, комплектующие.....	60
8.2.4 Прочие расходы.....	60
8.2.5 Расчет стоимости каналоклометра.....	61
8.3 Подвеска ОК на опорах линий связи.....	61
8.3.1 Заработная плата.....	61
8.3.2 Затраты на работы сторонних организаций.....	62
8.3.3 Материалы, оборудование, комплектующие.....	62

	5
8.3.4 Прочие расходы.....	62
8.3.5 Расчет стоимости каналоклометра.....	63
9 Основные измерения в ОВ.....	63
9.1 Измерение абсолютной оптической мощности.....	64
9.2 Измерение затухания.....	65
9.3 Оптический рефлектометр.....	65
10 От учебного проектирования к реальным проектам.....	69
Список литературы.....	72
Приложение А.....	74
Приложение Б.....	76
Приложение В.....	77
Приложение Г.....	78
Приложение Д.....	80
Приложение Е.....	81
Приложение Ж.....	85
Приложение З.....	87
Приложение И.....	95
Приложение К.....	96
Приложение Л.....	98
Приложение М.....	100

1 Цели и задачи курсового проекта

Целью преподавания дисциплины «Оптические направляющие среды и пассивные компоненты ВОЛС» (ОНСиПК ВОЛС) по специальности «Физика и техника оптической связи» является изучение студентами ВОЛС, являющимися в настоящее время самыми быстродействующими из всех известных систем связи, знакомство с оптическими кабелями и пассивными компонентами, используемых для: организации телефонной городской, междугородней и международных сетей связи и передачи данных; кабельного телевидения; локальных вычислительных сетей; структурированных кабельных систем; волоконно-оптических датчиков.

В курсе «ОНСиПК ВОЛС» предусмотрено выполнение курсового проекта особенностью которого является то, что он завершает изучение основных положений теории волоконно-оптических линий связи и требует от студента всей совокупности инженерных знаний для успешного проектирования.

Курсовое проектирование ставит своей целью систематизацию, закрепление и расширение теоретических знаний в области ВОЛС, углубленное изучение курса в соответствии с темой проекта, развитие навыков проектирования, а также самостоятельности в работе.

В процессе самостоятельной работы студента (под руководством преподавателя) решаются следующие задачи:

- освоение принципов построения ВОЛС;
- приобретение практических навыков по определению основных технических характеристик линий связи
- получение навыков разработки конструкторской документации;
- усвоение комплекса организационных мер и приемов при выполнении строительных работ и расчёта сметы строительства;
- развитие навыков самостоятельного поиска и использования справочной литературы (включая источники в Интернет);
- приобретение навыков использования современных информационных технологий для подготовки презентаций;
- приобретение навыков публичных выступлений перед аудиторией

Курсовой проект выполняется по индивидуальным заданиям. Общее руководство осуществляет преподаватель. За принятые в работе решения, правильность выбора трассы, способа прокладки, выбора пассивных компонент, технико-экономическое обоснование и своевременность подготовки и защиты курсового проекта в целом отвечает студент. В процессе выполнения проекта студент должен правильно организовать свой труд, регулярно работать над заданием, проявлять максимум инициативы и самостоятельности для решения поставленных задач.

2 Тематика курсового проекта

Тематика проектов определяется программой курса «Оптические направляющие среды и пассивные компоненты ВОЛС» связанная с предыдущими и последующими дисциплинами специальности 210401 и включает в себя следующие темы.

1. Проектирование магистральной линии связи «пункт А» – «пункт Б»
2. Проектирование Зоновой линии связи
3. Пассивная оптическая сеть корпорации
4. Структурированная кабельная система предприятия
5. Гибридная (волоконно-коаксиальная) сеть кабельного телевидения микрорайона
6. Волоконно-оптическая линия связи до жилого дома (FTTH)
7. Проектирование волоконно-оптической линии связи крупного с отделениями распределёнными по городу FTTB - Fiber To The Building

Тему курсового проекта студент выбирает самостоятельно с учётом своих интересов и способностей. В качестве примера в пособии приведена методика проектирования магистральной ВОЛС.

Студентам с хорошей подготовкой рекомендуется выбирать более сложные и новые темы, требующие переработки большого объёма литературных источников.

3 Задание на курсовой проект и его анализ

Каждому студенту выдается индивидуальное задание на курсовое проектирование в начале семестра преподавателем-руководителем проекта. В задании руководитель проекта указывает срок выдачи заданий, сроки проведения рубежного контроля выполнения студентом отдельных этапов проектирования (Приложение А) и дату защиты проекта. Задание оформляется на специальном бланке, в котором записываются: тема проекта; исходные данные к проекту; объем и содержание графических работ; объем и содержание расчетно-пояснительной записки; рекомендуемая литература; дополнительные указания к проекту.

Курсовой проект должен содержать качественные и количественные показатели определяющие пригодность сети связи в соответствии с назначением и дальнейшей перспективой развития. К таким показателям относятся:

- расчёт пропускной способности, числа каналов и скорости передачи информации;
- учебное проектирование ОВ в заданном диапазоне длин волн;
- обоснование энергетического потенциала линии связи;
- расчёт длины регенерационного участка по затуханию и дисперсии;
- надёжность линии связи;

- технико-экономическая целесообразность принятия решения;
- используемые методы строительства.

В курсе ОНСиПК ВОЛС невозможно охватить в полном объеме все вопросы, поэтому студенту проектировщику необходимо знать не только принципы функционирования и технические характеристики ОВ и методы их расчёта, но и способы защиты ОК от воздействий дестабилизирующих факторов (вибрации, воздействие электромагнитных полей, температурные воздействия, радиации, влаги и т.д.).

4 Указание по составлению и оформлению пояснительной записки

В пояснительной записке даются подробные исходные данные к проекту и отражается выполнение всех пунктов задания на курсовое проектирование. Рекомендуется следующее содержание пояснительной записки:

- титульный лист,
- реферат,
- задание,
- список условных сокращений и обозначений (при необходимости),
- содержание,
- введение,
- основная часть,
- заключение,
- литература,
- приложения.

Пример оформления задания приведен в Приложении А.

5 Порядок проектирования ВОЛС

Инженерная методика проектирования начинается с изучения поставленных требований к каналу связи. Затем выбирается топология построения сети, которая определяется назначением системы, числом терминалов и перспективами дальнейшего развития. Важнейшим этапом проектирования является выбор ОВ и типа оптического кабеля, этот выбор основывается на требованиях к дальности связи.

При выполнении данного курсового проекта сначала рекомендуется разработка технического задания, которое должно содержать краткие сведения по всем нижеперечисленным разделам с различными вариантами.

В техническом задании указывается:

1. Наименование и назначение ВОЛС;
2. Виды и объемы передаваемой информации;
3. Конечные (узловые) пункты трассы;
4. Стоимостные характеристики.

Далее, в соответствии с инженерной методикой расчета, производят детальный анализ ВОЛС и всего, что с ней связано.

Методика расчета ВОЛС предусматривает:

1. Выбор топологии сети связи между выбранными пунктами;
2. Определение необходимого числа каналов между ними;
3. Выбор и обоснование системы передачи, определение типа и числа требуемых оптических волокон в оптическом кабеле;
4. Расчет параметров ОВ;
5. Выбор и обоснование пассивных оптических элементов;
6. Расчет надежности оптического кабеля (ОК);
7. Составление сметы на строительство линейной части по укрупненным показателям и определение стоимости канала-километра линейных сооружений проектируемой оптической линии.

В ходе выполнения данного курсового проекта необходимо придерживаться всех изложенных требований, однако для правильной и надежной работы ВОЛС всей выше перечисленной методики может оказаться недостаточно, поэтому необходимо использовать дополнительную литературу.

Шкала рейтинга приведена в приложении Б

6 Методические указания к выполнению курсового проекта

В современной связи широко применяются волоконно-оптические линии связи (ВОЛС). В качестве среды передачи в ВОЛС используют оптическое волокно (ОВ). ВОЛС по своим характеристикам сильно отличается от других систем передачи, однако структурная часть системы имеет много схожих черт.



ПОМ – передающий оптический модуль;
МВВ – мультиплексор ввода/вывода;
ПрОМ – приемный оптический модуль.

Рисунок 6.1 – Структурная схема ВОЛС

На рисунке 6.1 изображена структурная схема ВОЛС. Роль передающего устройства выполняет передающий оптический модуль (ПОМ), приемного – приемный оптический модуль (ПрОМ). На выходе ПОМ сигнал имеет уровень оптической мощности равный $P_{пер}$. Сигнал по мере распространения затухает и его уровень может опуститься ниже порогового уровня $P_{пр}$, что сделает невозможным прием сигнала с достаточной достоверностью. Поэтому в тракт передачи включают регенераторы – для восстановления формы и амплитуды сигнала.

В тракте передачи могут быть установлены устройства, позволяющие вводить или выводить необходимую информацию.

В приложении К приведены рекомендации МСЭ-Т по конфигурации ВОСП.

6.1 Выбор трассы и способа прокладки линии связи

В технологии прокладки оптического кабеля (ОК) много общего с технологией прокладки электрических кабелей связи [1, 2, 3]. Спецификой прокладки ОК являются ограничения на величину изгиба кабеля и уровень прикладываемой механической нагрузки. Превышение нагрузок может привести к обрыву ОК, либо к дефектам волокна, которые в дальнейшем станут причиной отказов в работе оптической линии [4].

Прокладка ОК может проводиться:

- в каналах кабельной канализации;
- в грунте;
- путем подвески ОК к опорам воздушных линий электропередачи или контактной сети железных дорог;
- по стенам зданий и внутри помещений.

Трасса прокладки ОК определяется расположением конечных пунктов. Все требования, учитываемые при выборе трассы сводятся к трем основным пунктам: капитальные минимальные затраты на строительство; минимальные эксплуатационные расходы; удобство обслуживания.

Для обеспечения первого требования учитывают протяженность трассы, наличие и сложность пересечения рек, железных и шоссейных дорог, трубопроводов, характер местности, почв, грунтовых вод, возможность применения механизированной прокладки, необходимость защиты сооружений связи от электромагнитных влияний и коррозии, возможность и условия доставки грузов (материалов, оборудования) на трассу.

Для обеспечения второго и третьего требований возможность размещения обслуживающего персонала, а также создания соответствующих условий для исполнения служебных обязанностей.

Трасса должна иметь наикротчайшее по возможности расстояние между заданными пунктами и наименьшее количество препятствий, усложняющих и удорожающих строительство. За пределами населенных пунктов трассу обычно выбирают в полосе отвода автомобильных дорог или вдоль профилированных проселочных дорог. Допускается спрямление трассы кабеля, если прокладка вдоль автомобильной дороги значительно удлиняет трассу.

При пересечении водных преград переходы выбирают в тех местах, где река имеет наименьшую ширину, нет скальных и каменистых грунтов, заторов льда и т.д. Следует избегать прокладывать кабель в месте перехода обрывистых или заболоченных берегов, перекатных участков, паромных переправ, стоянок судов, причалов и т.д.

Изыскания по выбору трассы осуществляются по картографическим материалам [5]. Обычно между заданными пунктами намечается несколько возможных вариантов прокладки кабеля. В проекте необходимо дать сравнительную характеристику двух-трех вариантов трассы и выбрать оптимальный. Результаты сравнительного анализа оформляют в виде таблицы; приводят выкопировку из карты с указанием всех возможных вариантов трассы и результаты их анализа. Объем этого раздела не должен превышать трех страниц.

6.2 Определение числа каналов и скорости передачи

Число каналов, связывающих выбранные конечные пункты, в основном зависит от численности населения в этих пунктах и от степени заинтересованности отдельных групп населения во взаимосвязи.

Численность населения в любом областном центре и в области в целом может быть определена на основании статистических данных последней переписи населения. Обычно перепись населения осуществляется один раз в пять лет, поэтому при перспективном проектировании следует учесть прирост населения. Количество населения в заданном пункте и его подчиненных окрестностях с учетом среднего прироста населения можно определить как:

$$N_t = N_0 \left(1 + \frac{P}{100}\right)^t, \text{ [чел.]} \quad (6.1)$$

где N_0 – народонаселение в период переписи населения, чел.;

P – средний годовой прирост населения в данной местности, % (принимается по данным переписи 2-3%);

t – период, определяемый как разность между назначенным годом перспективного проектирования и годом проведения переписи населения.

Год перспективного проектирования принимается на 5-10 лет вперед по сравнению с текущим временем. В курсовом проекте следует принять 5 лет вперед. Следовательно, $t = 5 + (t_m - t_0)$, где t_m – год составления проекта; t_0 – год, к которому относятся данные N_0 .

Степень заинтересованности отдельных групп населения во взаимосвязи зависит от политических, экономических, культурных и социально-бытовых отношений между группами населения, районами и областями. Взаимосвязь между заданными конечными и промежуточными пунктами определяется на основании статистических данных, полученных предприятием связи за предшествующие проектированию годы. Практически эти взаимосвязи выражаются через коэффициент тяготения f_1 , который как показывают исследования, колеблется в широких пределах (от 0,1 до 12 %). В курсовом проекте следует принять $f_1 = 5 \%$.

Учитывая это, а так же то обстоятельство, что телефонные каналы в междугородной связи имеют преобладающее значение, необходимо определить сначала количество телефонных каналов между заданными конечными пунктами. Для расчета телефонных каналов используют приближенную формулу:

$$n_{\delta\delta} = \alpha_1 f_1 y \frac{m_a \cdot m_b}{m_a + m_b} + \beta_1, \quad (6.2)$$

где α_1 и β_1 – постоянные коэффициенты, соответствующие фиксированной доступности и заданным потерям; обычно потери задаются 5 %, тогда $\alpha_1=1,3$, $\beta_1=5,6$;

f_1 – коэффициент тяготения, $f_1 = 0,05$ (5 %);

y – удельная нагрузка, т.е. средняя нагрузка, создаваемая одним абонентом, $y=0,05$ Эрл;

m_a и m_b – количество абонентов обслуживаемых конечными станциями АМТС соответственно в пунктах А и Б.

В перспективе количество абонентов, обслуживаемых той или иной конечной АМТС, определяется в зависимости от численности населения, проживающего в зоне обслуживания. Принимая средний коэффициент оснащённости населения телефонными аппаратами равным 0,3 (в Томске 0,4), количество абонентов в зоне АМТС можно определить как:

$$m = 0,3N_t, \quad (6.3)$$

где N_t находится из формулы (6.1).

Современное состояние сетей связи характеризуется внедрением дополнительных услуг, бурным ростом сетей Интернет. Поэтому кроме телефонной, необходимо учесть нагрузку пользователей Интернет. Принято считать, что количество каналов выделяемых для доступа в Интернет составляет 10 - 20% от количества телефонных каналов. В городах число жителей, пользующихся Интернет составляет в среднем 3,8%. Из них доля обычных модемных пользователей при нагрузке 0,04 Эрл в час наибольшей нагрузки (ЧНН) и скорости передачи 56 Кбит/с составляет 80%.

В курсовом проекте необходимо произвести расчет пользователей Интернет для каждого населенного пункта по формуле (6.4).

Нагрузка (в единицах измерения скорости передачи) рассчитывается по формуле:

$$P = V \cdot \mathcal{E} \cdot N \quad (6.4)$$

где V - скорость передачи, бит/с (принять 56 Кбит/с для обычных модемных пользователей и 128 кбит/с - 20 Мбит/с для «продвинутых» пользователей);

\mathcal{E} - удельная нагрузка в ЧНН, (принять 0,04 Эрл. для обычных модемных пользователей и 0,3 Эрл. для «продвинутых» пользователей);

N - количество пользователей.

Для расчетов процент жителей, пользующихся Интернет, принять в соотношении:

- обычные пользователи - (20-50)% от числа абонентов;

- «продвинутые» пользователи

128 кбит/с - 1,5 Мбит/с - (1-10)% от числа абонентов;

1,5 - 10,0 Мбит/с - (0,1-1)% от числа абонентов.

Тогда нагрузка от пользователей Интернет составит:

$$P = V \cdot \mathcal{E} \cdot N = 5.6 \cdot 10^3 \cdot 0.04 \cdot N_{об} + 1.5 \cdot 10^6 \cdot 0.3 \cdot N_{пр}, \quad \text{бит/сек} \quad (6.5)$$

где: $N_{i\bar{i}}$ - численность обычных модемных пользователей, чел.;

$N_{\bar{i}i}$ - численность «продвинутых» пользователей, чел.

Зная нагрузку, можно пересчитать ее в основной цифровой канал (ОЦК). Скорость ОЦК составляет 64 Кбит/с. Тогда общее количество каналов для Интернет:

Таким образом, можно рассчитать число каналов между выбранными оконечными пунктами. Но так как по оптическому кабелю организуют каналы других видов связи и проходят транзитные каналы, то общее число каналов между двумя междугородными станциями заданных пунктов можно найти как:

$$n_{об} = n_{тф} + n_{тс} + n_{тв} + n_{тд} + n_{тз} + n_{тп} + n_{тв} + n_{интер}, \quad (6.6)$$

где $n_{об}$ - общее число каналов между двумя междугородными станциями;

$n_{тф}$ – число двухсторонних каналов для телефонной связи;
 $n_{тг}$ – для телеграфной связи; $n_{пв}$ – для проводного вещания; $n_{пд}$ – для передачи данных; $n_{пг}$ – для передачи газет; $n_{тр}$ – транзитные каналы; $n_{тв}$ – число двухсторонних каналов для передачи телевидения; $n_{интер}$ – число пересчитанных Интернет каналов.

Число каналов для организации связи различного назначения может быть выражено через основной цифровой канал (ОЦК) со скоростью 64 кбит/с. Например: 1 $тв$ канал=1600 КТЧ=77,5 ОЦК; 1 $тг$ канал=1/24 КТЧ=0,002 ОЦК; 1 $пв$ канал=3 КТЧ=0,146 ОЦК. Для курсового проекта можно принять

$$n_{тг} + n_{пв} + n_{пд} + n_{пг} + n_{тр} \approx n_{тф}$$

В курсовом проекте следует предусмотреть два двухсторонних телевизионных канала $n_{тв}$. Если трасса не проходит через столицы государств или краев, то канал телевидения не предусматривается.

Тогда общее число каналов рассчитывают по упрощенной формуле:

$$n_{об} = 2n_{тф} + n_{тв} = 2n_{тф} + 3200, \quad (6.7)$$

где $n_{тф}$ – число двухсторонних телефонных каналов определяют по (6.2);

$n_{тв}$ – число двухсторонних телевизионных каналов.

В итоге необходимую скорость передачи можно определить как

$$B = n_{об} \cdot 64 \text{ кбит/с} \quad (6.8)$$

При проектировании необходимо выбирать скорость из рекомендаций для PDH и SDH технологий.

6.3 Определение числа ОВ в ОК

В данном курсовом проекте предлагается использовать оптическую систему передачи, созданную на базе двух цифровых иерархии.

Основные параметры систем PDH и SDH приведены в таблице 6.1 и 6.2.

Таблица 6.1 – Европейская иерархия PDH

Обозначение потока	Скорость передачи Мбит/с	Число ОЦК в потоке
E0 (ОЦК)	0,064	1
E1	2,048	30
E2	8,448	120
E3	34,368	480
E4	139,264	1920

Чем выше степень уплотнения, тем экономичнее получается линия, однако следует выбирать систему передачи из того расчета, чтобы запас на каналы не превышал (15–20)%.

Таблица 6.2 – Иерархия SDH

Синхронный транспортный модуль SDH	Скорость передачи
STM-1	155 Мбит/с
STM-4	622 Мбит/с
STM-16	2,5 Гбит/с
STM-64	10 Гбит/с
STM-256	40 Гбит/с

Требуемое число ОВ в ОК выбирают на основе рассчитанного общего числа каналов для выбранной системы передачи. Следует учесть, что двухстороннюю связь осуществляют по двум ОВ: по одному ОВ передают сигналы в направлении от А к Б, а по другому – в обратном от Б к А. В обоих направлениях сигналы передаются на одной и той же оптической несущей.

При использовании одной несущей частоты (одной длины волны) в системе ИКМ-1920 получают следующее число ОВ: организация двух телевизионных каналов (двухстороннего действия) и 600 телефонных каналов требует четыре ОВ (два для передачи в сторону А-Б и два в обратную сторону). Для организации большего числа телефонных каналов понадобится еще одна из систем, указанных выше, которая потребует еще два ОВ. Таким образом, ОК должен содержать как минимум четыре или шесть отдельных ОВ.

6.4 Расчет передаточных характеристик оптического волокна

В курсовом проекте с целью закрепления и глубокого усвоения материала проводится учебное проектирование ОВ.

Чтобы рассчитать параметры оптического волокна необходимо знание рабочей длины волны (см. ТЗ), относительной разности показателя преломления ($\Delta=0,001 \div 0,05$).

Таблица 6.3 – Стандарты на параметры ОВ

Параметр	ITU-T Rec. G 651 (ММ)	ITU-T Rec. G 652 (ОМ)	IEC 60793-2	
			ММ	ОМ
Диаметр сердцевины ОВ	$\pm 6\%$	—	$\pm 3\%$	—
Диаметр поля моды ОВ	—	$\pm 10\%$	—	$\pm 10\%$
Некруглость сердцевины ОВ	$< 6\%$	—	$< 6\%$	—
Диаметр оболочки ОВ	$\pm 2,4\%$	± 2 мкм	$\pm 3\%$	± 3 мкм
Некруглость оболочки ОВ	$< 2\%$	$< 2\%$	$< 2\%$	$< 2\%$
Неконцентричность сердцевины и оболочки ОВ	$< 6\%$	—	$< 6\%$	—
Неконцентричность поля моды и оболочки ОВ	—	± 1 мкм	—	—

Показатель преломления сердцевины n_1 рассчитывается по формуле Селмейера (6.9). Диаметр сердцевины определяется исходя из требований для

одномодового или многомодового ОВ. При расчетах необходимо учитывать допустимые отклонения геометрических параметров ОВ от номинальных, которые приведены в таблице 6.3, более подробно стандарты на одномодовое и многомодовое волокно приведены в Приложении Г.

Таблица 6.4 – Типичные конструктивные параметры ОВ

Параметр	Тип ОВ			
	Одномодовое	Одномодовое со смещенной дисперсией	Многомодовое 50 мкм	Многомодовое 62,5 мкм
Диаметр сердцевины, мкм	5	8,3	50±3	62,5±3
Неконцентричность сердцевины, мкм	—	—	2	3
Диаметр оболочки, мкм	125±1	125±1	125±1	125±1
Некруглость оболочки, не более %	2	2	2	2
Диаметр защитного покрытия, мкм	250±15	250±15	250±15	250±15

Таблица 6.5 – Спектральные диапазоны длин волн для одномодовых ОВ на основе плавленого кварца

Обозначение	Наименование	Диапазон длин волн; нм	Примечания
О-диапазон	Основной	1260-1360	Original
Е-диапазон	Расширенный	1360-1460	Extended
С-диапазон	Коротковолновый	1460-1530	Short wavelength
С-диапазон	Стандартный	1530-1565	Conventional
L-диапазон	Длинноволновый	1565-1625	Long wavelength
U-диапазон	Сверхдлинноволновый	1625-1675	Ultra-long wavelength

Определение показателей преломления оболочки и сердцевины

Можно задаться показателем преломления сердцевины (n_1) или найти его по формуле Селмейера, которая описывает спектральную зависимость показателя преломления от длины волны:

$$n_1(\lambda) = \sqrt{1 + \sum_{i=1}^3 \frac{\lambda^2 \cdot A_i}{\lambda^2 - \mu_i^2}}, \quad (6.9)$$

где A_i и μ_i – коэффициенты формулы Селмейера (таблица коэффициентов приведена в Приложении Д)

$$n_2 = n_1 \sqrt{1 - 2\Delta} \approx n_1 (1 - \Delta), \quad (6.10)$$

где n_2 – показатель преломления оболочки;
 n_1 – показатель преломления сердцевины;
 Δ – относительная разность показателей преломления сердцевины и оболочки.

Определение числовой апертуры волокна NA

Числовая апертура – основной параметр оптического волокна, связанный с максимальным углом ввода излучения. Она используется для расчёта эффективности ввода излучения в ОВ. Числовая апертура это безразмерная величина, обычно её значение $0,11 \div 0,3$. Расчёт числовой апертуры производится по формуле:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (6.11)$$

где n_1 – показатель преломления сердцевины;
 n_2 – показатель преломления оболочки.

Числовая апертура ответственна за **эффективность ввода излучения** в ОВ:

$$\eta = NA^2 \quad (6.12)$$

Значения числовой апертуры, как правило, не превышает 0,5.

Определение нормированной частоты V

Нормированная частота является безразмерным числом, которое определяет количество мод поддерживаемых волокном.

$$V = \frac{\pi \cdot d}{\lambda} \cdot \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (6.13)$$

где d – диаметр сердцевины, мкм;

λ – длина волны источника излучения, мкм.

Обратите внимание, что одномодовый режим возможен при $V < 2,405$. Условие работы волокна в многомодовом режиме – $V > 2,405$, это значит, что в волокне помимо основной HE_{11} моды присутствуют моды высших порядков: H_{01} , E_{01} , HE_{21} . Однако практически это волокно может работать как одномодовое, т.к. не основные моды имеют много больший коэффициент затухания, чем основная. Поэтому на достаточно большом расстоянии они затухнут, и будет распространяться только одна основная мода.

В техническом задании выбор рабочей длины волны задаётся преподавателем. В данном разделе необходимо определить длину волны отсечки (минимальная длина волны применяемого излучения, при котором ОВ является одномодовым)

$$\lambda_{отс} = \pi \cdot d \cdot \frac{NA}{2,405} \quad (6.14)$$

Если рабочая длина волны меньше λ_{OTC} , то ОВ становится многомодовым. Таким образом, диаметр сердцевины берется в зависимости от типа выбранного волокна (ООВ или МОВ) и для ООВ, исходя из условия (6.14)

Расчет эффективного диаметра поля моды

Важной характеристикой ОВ является распределение света в ООВ по сердцевине ОВ. Знание этой характеристики в зависимости от длины волны влияет на качество соединений двух ОВ.

Эффективный диаметр поля моды можно рассчитать по следующей формуле:

$$w_1 \approx d \left(0,65 + 1,62V^{-3/2} + 2,879 \cdot V^{-6} \right), \quad (6.15)$$

где V – нормированная частота;

d – диаметр сердцевины.

Для оценки величины диаметра поля моды с точностью единиц процента, можно использовать формулу

$$w_2 \approx 0,83 \cdot \frac{\lambda}{NA} \quad (6.16)$$

Эффективная площадь модового поля (мкм) ООВ рассчитывается по формуле:

$$A_{эфф} = \frac{\pi \cdot w^2}{4}. \quad (6.17)$$

Она необходима при учете нелинейных эффектов в ОВ, например, при использовании метода спектрального уплотнения каналов DWDM.

Расчет затухания в ОВ

Затухание в качественном оптическом волокне обусловлено двумя основными факторами: рассеянием Релея и общими потерями за счёт поглощения, прочие потери минимизируются при высокотехнологичном производстве ОВ. Таким образом, суммарное значение коэффициента затухания может быть определено следующим образом:

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_{расс} + \alpha_{инк} + \alpha_{уф}, \quad (6.18)$$

где $\alpha_{\delta n \bar{n}}$ – затухание, вызванное рассеиванием Релея [дБ/км];

$\alpha_{инк}$ – коэффициент затухания в инфракрасной области [дБ/км];

$\alpha_{уф}$ – коэффициент затухания в ультрафиолетовой области [дБ/км].

Затухание, вызванное рассеянием Релея, рассчитывается по формуле:

$$\alpha_{расс}(\lambda) = 4,34 \cdot \frac{8 \cdot \pi^3}{3 \cdot \lambda^4} \cdot (n_1^2(\lambda) - 1) \cdot \beta \cdot k \cdot T \cdot 10^3 \quad (6.19)$$

где K – постоянная Больцмана, $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;

β – коэффициент сжимаемости кварца, $8,1 \cdot 10^{-11}$ м²/Н;

T – абсолютная температура плавления кварца, 1500°K ;

Выделив слагаемые, независимые от длины волны, выражение (6.19) можно преобразовать к виду:

$$\alpha_{\text{расс}}(\lambda) = C' \cdot \frac{(n_1^2(\lambda) - 1)}{\lambda_{\text{мкм}}^4} \left[\frac{\partial B}{\text{км}} \right], \quad (6.19a)$$

где $C' = 0,6 \frac{\partial B_{\text{мкм}}^4}{\text{км}}$.

Коэффициенты затухания в ультрафиолетовой и инфракрасной области рассчитываются по формулам:

$$\alpha_{\text{уф}} = \frac{10^{\frac{2}{\lambda[\text{мкм}]}}}{2154}; \quad (6.20)$$

$$\alpha_{\text{ик}} = 10^{\left(\frac{-21,9}{\lambda[\text{мкм}]} + 12,4 \right)}. \quad (6.21)$$

Суммарное значение даёт нам теоретический предел собственных потерь в ОВ. Кроме этого за счёт несовершенства технологии изготовления ОВ на затухании сказывается потери на микроизгибах, которые возникают при монтаже и прокладке ВОЛС. Это так называемые «кабельные потери», величина которых составляет 0,15-0,2 суммарного значения коэффициента затухания α_{Σ} .

Определение затухания обусловленного макро и микроизгибами

Макроизгибы соотносят с некоторым определенным малым радиусом. Когда кабель намотан на катушку, то он сгибается по радиусу катушки. Если он прокладывается, в частности, в зданиях, то он может сгибаться на углах. Укладчик не должен уменьшать радиус изгиба меньше минимально допустимого при любой необходимости обхода углов. Обычно, сгибая ВОК сильнее, чем это допускается ограничениями на радиус изгиба, можно повредить кабель, даже порвать волокна в кабеле. Это может также вызвать существенное увеличение затухания волокна.

Затухание на макроизгибах определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{МАКР}} = -10 \lg \left(\left| 1 - \frac{2 \cdot a \cdot n_1^2}{R \cdot NA^2} \right| \right) \text{ [дБ]}, \quad (6.22)$$

где a – радиус сердцевины ОВ, мкм;

n_1 – показатель преломления сердцевины;

R – радиус изгиба ОВ;

NA – числовая апертура.

Минимальный радиус изгиба производитель кабеля указывается в спецификации.

Как правило он составляет 20 диаметров кабеля, а радиус изгиба ОВ не должен быть меньше 5-8 см.

Дополнительные потери при сращивании волокон

Линия связи состоит из отрезков кабелей (строительных длин - $l_{ст}=2.2$ км; 4 или 6 км) которые соединяются между собой путём сваркой

Сращивание волокон потребуется при прокладке кабеля или при его эксплуатации, если кабель окажется поврежденным, а его волокна – сломанными. Разъемные соединительные устройства (коннекторы) обычно используются в оконечной аппаратуре.

Существует две причины возникновения потерь в волоконно-оптическом соединении:

1. Внутренняя, или связанная с нестабильностью параметров самого волокна.
2. Внешняя, связанная непосредственно с соединителем.

Внутренние причины. При соединении двух ОВ обычно предполагается, что они идентичны, однако на самом деле это не так. В процессе производства неизбежны некоторые отклонения геометрических параметров ОВ от номинальных. Как показала практика, наибольшее влияние на характеристики соединения оказывают три параметра: неконцентричность сечений сердцевины и оболочки, допуск на диаметр сердцевины и несовпадение диаметров поля моды.

Неконцентричность сердцевины и оболочки дает понять насколько хорошо сердцевина волокна центрируется в стекле оболочки. Рассогласование, связанное с концентричностью, определяется расстоянием между центрами сердцевины и оболочки.

В случае одномодовых волокон доминирующим фактором является несовпадение *диаметров поля моды* волокон. Данные потери рассчитываются как:

$$\alpha_{nom} = 4.34 \cdot \left[\frac{\Delta w}{w} \right]^2, [\text{дБ}] \quad (6.23)$$

Типичные значения $\frac{\Delta w}{w}$ изменяются от 0.08 до 0.12.

Данные вариации параметров существуют в каждом волокне, несмотря на технологический контроль, позволяющий избегать недопустимых отклонений этих параметров.

Все эти потери следует учитывать аддитивно.

Внешние факторы приводят к потерям, которые являются следствием несовершенства как самой конструкции соединения, так и процесса сборки оптического соединителя (коннектора). Они зависят от таких факторов как:

- механическая нестыковка (угловое смещение Θ , радиальное смещение L , осевое смещение S);
- шероховатости на торце сердцевины;

В курсовом проекте студенту предлагается оценить эти виды потерь и учесть их при расчете длины регенерационного участка по затуханию.

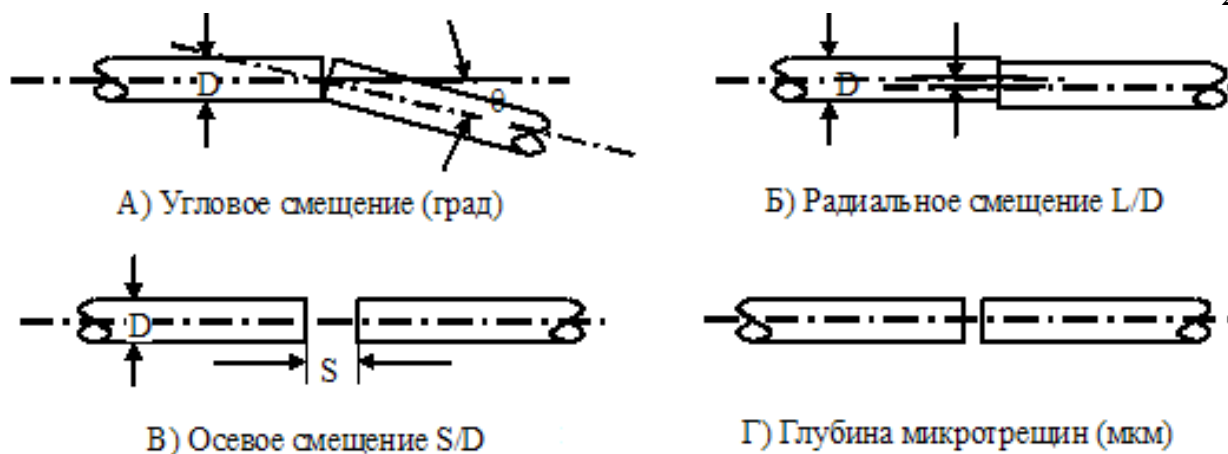


Рисунок 6.2 – Четыре главных вида внешних потерь в соединителе
 а) потери при угловом смещении; б) потери при радиальном смещении;
 в) потери при осевом смещении; г) потери из-за френелевского рассеяния

Радиальное смещение. Потери возникают тогда, когда центральная ось одного ОВ не совпадает с центральной осью другого.

Потери при радиальном смещении можно определить как:

$$\alpha_L = -10 \cdot \lg \left(1 - \frac{4 \cdot L}{\pi \cdot d} \right), \text{ [дБ]} \quad (6.24)$$

где d – диаметр сердцевин, мкм;
 L – радиальное смещение, мкм.

Угловое рассогласование осей. Сколы соединяемых ОВ должны быть перпендикулярны осям ОВ и параллельны друг другу. Уровень потерь увеличивается с увеличением угла рассогласования. Потери при угловом θ смещении определяется формулой:

$$\alpha_\theta = -10 \lg \left(1 - \frac{2 \cdot \Theta}{\pi \cdot \arcsin NA} \right), \quad (6.25)$$

где θ – угол рассогласования волокон в радианах.

Осевое смещение (зазор). Наличие зазора между сколами в среде с показателем преломления почти равным показателю преломления сердцевин ОВ приводит к увеличению потерь.

Потери при осевом S смещении определяется формулой:

$$\alpha_S = -10 \cdot \lg \left(\frac{1}{\left(1 + 2 \times \left(\frac{S}{d} \right) \times \left[\arcsin \left(\frac{NA}{n_0} \right) \right] \right)} \right)^2, \quad (6.26)$$

где S – осевое смещение, мкм,

n_0 – ПП среды, заполняющей пространство стыка.

Обратные отражения. В любом разъёмном соединителе между торцевыми поверхностями обязательно остаются воздушные зазоры большей

или меньшей толщины или площади, вызванные неизбежными погрешностями и допусками на изготовление коннекторов. В таких областях за счет наличия перехода стекло-воздух-стекло возникают френелевские отражения, которые приводят к появлению отраженного в обратном направлении светового потока. Потери на обратное отражение определяются как

$$a_F = -10 \lg \left(2n_1 n_0 / (n_1^2 + n_0^2) \right) \quad (6.27)$$

где n_1 – показатель преломления волокна, одинаковый для обоих ОВ;
 n_0 – показатель преломления среды в зазоре.

В курсовой работе необходимо провести расчёт параметров затухания.

Пропускная способность

Пропускная способность определяет объем информации, который можно передавать по ОК. Ограничение обусловлено тем, что импульс на приеме приходит размытым, искаженным вследствие различия скоростей распространения в световоде отдельных его частотных составляющих. Полоса частот связана с дисперсией соотношением:

$$\Delta f(L) = 0.44 / \tau(L), \quad (6.28)$$

где $\tau(L)$ – суммарная дисперсия в ОВ.

На практике, чаще пользуются термином коэффициент широкополосности. При расчете полосы пропускания W можно воспользоваться формулой:

$$\Delta F = 0.44 / \tau_0 \quad (6.29)$$

где $\tau_0 = \tau / L$ – дисперсия на участке ОВ длиной $L=1\text{км}$ (удельная дисперсия). Коэффициент широкополосности измеряется в МГц·км.

Расчет дисперсии

Импульсы света, последовательность которых определяет информационный поток, в процессе распространения по ОВ расплываются. При достаточно большом уширении импульсы начинают перекрываться так, что становится невозможным их различить при приеме.

Под дисперсией понимается увеличение длительности импульса оптического излучения при распространении его по оптическому волокну. Межмодовая дисперсия $\tau_{\text{мод}}$ характерна для МОВ и обусловлена наличием большого количества мод, каждая из которых распространяется со своей скоростью. В ООВ дисперсия складывается из хроматической и поляризационно-модовой. Последняя имеет место при высокой скорости передачи и узкой ширине линии излучения ПОМ.

Дисперсия имеет размерность времени и определяется как квадратичная разность длительностей импульсов на выходе и входе ОВ длины L [4] по формуле:

$$\tau = \sqrt{t_{\text{вых}}^2 - t_{\text{вх}}^2} \quad (6.30)$$

Обычно дисперсия нормируется в расчете на 1 км, и измеряется в пс/км.

Чем меньше значение дисперсии, тем больший поток информации можно передать по волокну.

Результирующая дисперсия τ определяется как:

$$\tau = \sqrt{\tau_{\text{мод}}^2 + (\tau_{\text{мат}} + \tau_{\text{вол}})^2 + \tau_{\text{пмд}}^2}, \quad (6.31)$$

где $\tau_{\text{мод}}$ - межмодовая дисперсия;

$\tau_{\text{мат}}$ - материальная дисперсия;

$\tau_{\text{волн}}$ - волноводная дисперсия;

$\tau_{\text{пмд}}$ - поляризационно-модовая дисперсия.

Для градиентного многомодового ОВ с параболическим профилем показателя преломления, применяемого в настоящее время исключительно в ЛВС, межмодовую дисперсию можно вычислить по формуле:

$$\tau_{\text{мод.гр}} = \frac{n_1 \Delta^2}{2c} L \quad (6.32)$$

Формула справедлива для длины трассы менее 10км. В настоящее время, коэффициент широкополосности градиентных ОВ составляет 500-600 МГц*км на длине волны 0,85 мкм и 600-1200 МГц*км на длине волны 1,3мкм.

Хроматическая дисперсия $\tau_{\text{хр}}$ состоит из двух составляющих - *материальной* $\tau_{\text{мат}}$ и *волноводной* (внутримодовой) $\tau_{\text{волн}}$ дисперсий. Волноводная дисперсия связана с зависимостью коэффициента распространения от длины волны. Материальная дисперсия обусловлена зависимостью показателя преломления от длины волны.

В выражение для материальной дисперсии ОВ входит дифференциальная зависимость показателя преломления от длины волны:

$$\tau_{\text{мат}}(\Delta\lambda, L) = \Delta\lambda \cdot L \cdot \frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2} = \Delta\lambda \cdot L \cdot M(\lambda). \quad (6.33)$$

Волноводная дисперсия рассчитывается по формуле:

$$\tau_{\text{волн}}(\Delta\lambda, L) = \Delta\lambda \cdot L \cdot \frac{2n_1^2 \Delta}{c \cdot \lambda} = \Delta\lambda \cdot L \cdot B(\lambda) \quad (6.34)$$

где $M(\lambda)$ [пс/(нм·км)] и $B(\lambda)$ – удельные материальная и волноводная дисперсии соответственно,

$\Delta\lambda$ – ширина спектра источника излучения

Если коэффициент волноводной дисперсии всегда больше нуля, то коэффициент материальной дисперсии может быть как положительным, так и

отрицательным. Следовательно, при определенной длине волны (примерно 1310 ± 10 нм) происходит взаимная компенсация $M(\lambda)$ и $B(\lambda)$, то есть результирующее значение дисперсии равно нулю. Длина волны, при которой это происходит, называется длиной волны нулевой дисперсии (λ_0). Обычно указывается некоторый диапазон длин волн, в пределах которых может варьироваться λ_0 для данного конкретного волокна.

Студент по заданной рабочей длине волны, используя результаты расчетного задания, определяет $n(\lambda)$ по формуле Селмейера и затем определяет $M(\lambda)$ и $B(\lambda)$ по формулам:

$$M(\lambda) = \frac{\lambda}{c} \frac{\partial^2 n_1(\lambda)}{\partial \lambda^2}; \quad (6.35)$$

$$B(\lambda) = \frac{2n_1^2(\lambda)\Delta}{c \cdot \lambda}. \quad (6.36)$$

А затем определяет коэффициент удельной хроматической дисперсии:

$$D(\lambda) = M(\lambda) + B(\lambda). \quad (6.37)$$

Важным с практической точки зрения по ОБ всех типов является наклон кривой удельной хроматической дисперсии S_0 .

$$S_0 = \frac{dD(\lambda)}{d\lambda}. \quad (6.38)$$

При заданной S_0 и λ_0 коэффициент удельной хроматической дисперсии для окон прозрачности ($\lambda = 1,280 - 1,620$ мкм) можно определить по формуле:

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \cdot \left(\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right), \quad (6.39)$$

где S_0 - наклон в точке нулевой дисперсии, λ - рабочая длина волны, λ_0 - длина волны нулевой дисперсии.

Формула (2.45) справедлива только для SMF – волокон. Для ОБ со смещенной дисперсией DSF (G.653) $D(\lambda)$ определяется по формуле:

$$D(\lambda) = 2,3 \cdot S_0 \cdot \lambda_0 \cdot \lg \left(\frac{\lambda}{\lambda_0} \right), \quad (6.40)$$

при этом $\lambda_0 = 1,535 \div 1,565$ мкм, а $S_0 \leq 0,085 \frac{пс}{нм^2 \cdot км}$.

Поляризационная модовая дисперсия $\tau_{пмд}$ возникает вследствие различной скорости распространения двух взаимно перпендикулярных поляризационных составляющих моды.

В одномодовом волокне в действительности может распространяться не одна мода, а две фундаментальные моды – две перпендикулярные поляризации исходного сигнала. В идеальном волокне, в котором отсутствуют неоднородности по геометрии, две моды распространялись бы с одной и той же скоростью. Однако на практике волокна имеют неидеальную геометрию, что приводит к различной скорости распространения двух поляризационных составляющих мод.

Коэффициент удельной дисперсии T нормируется в расчете на 1 км и имеет размерность ($\text{пс}/\text{км}^{1/2}$), а $\tau_{\text{пол}}$ растет с ростом расстояния по закону

$$\tau_{\text{нмд}} = T \cdot \sqrt{L}. \quad (6.41)$$

Из-за небольшой величины $\tau_{\text{нмд}}$ может проявляться исключительно в одномодовом волокне, причем когда используется передача широкополосного сигнала (полоса пропускания 2,4 Гбит/с и выше) с очень узкой спектральной полосой излучения 0,1 нм и меньше. В этом случае хроматическая дисперсия становится сравнимой с поляризационной модовой дисперсией.

Так, из-за влияния хроматической дисперсии ОВ при увеличении скорости передачи в ЦСП СЦИ/SDH (с лазером с шириной спектра не более 0,1 нм) от 2,5 Гбит/с (уровень STM-16) до 10 Гбит/с (STM-64) максимально возможная протяженность ВОЛС уменьшается в 16 раз. При этом для стандартного ступенчатого одномодового ОВ (Рекомендация G.652 МСЭ-Т) максимальная дальность передачи со скоростью 10 Гбит/с без компенсации и коррекции дисперсии обычно не превышает 50 – 75 км

6.5 Выбор конструкции ОК

ОК выбирают прежде всего исходя из длины линии и скорости передачи [4], причем в зависимости от длины канала различают:

- магистральные каналы ($600 \text{ км} < L < 2500 \text{ км}$);
- зональные ($100 \text{ км} < L < 600 \text{ км}$);
- внутриобъектовые (городские) ($10 \text{ км} < L < 100 \text{ км}$);
- локальные ($0,2 \text{ км} < L < 3...5 \text{ км}$).

Исходя из этого, как правило:

- для магистральных систем связи используют ВОК с одномодовыми волокнами, на волне 1,55 мкм или 1,33 мкм, с затуханием 0,2 дБ/км или 0,34 дБ/км, полосой пропускания 5 ГГц;
- для зональных используют ВОК с применением градиентных волокон;
- для локальных сетей используют ВОК с многомодовыми волокнами со ступенчатым профилем.

При разработке конструкции ОК следует учитывать ряд требований:

- кабель должен быть надежно защищен от наружных механических воздействий;
- при изгибе кабеля или его растягивании в процессе прокладки ОВ должны оставаться неповрежденными по всему сечению кабеля;
- в ряде случаев в конструкции должны быть, как минимум, две медные жилы, по которым к регенераторам подается дистанционное электропитание по системе «провод – провод», в отдельных случаях оно может подаваться по системе «провод – металлическая оболочка» (если есть регенераторы).

ОПН - Д П С - 06 - 016 Е 08 - 15,0

					Длительно допустимая растягивающая нагрузка, кН
					Максимальное число оптических волокон в модуле
					Тип оптического волокна: <i>E</i> – стандартное одномодовое; <i>C</i> – одномодовое со смещенной дисперсией; <i>H</i> – одномодовое с ненулевой смещенной дисперсией; <i>A</i> – одномодовое с расширенной рабочей полосой волн; <i>G</i> – многомодовое градиентное (диаметр сердцевины 50 мкм); <i>M</i> – многомодовое градиентное (диаметр сердцевины 62.5 мкм)
					Число оптических волокон в кабеле
					Число элементов в повиве сердечника
					Тип защитного покрова: <i>C</i> – однослойная броня из стальных проволок и наружная полиэтиленовая оболочка; <i>H</i> – однослойная броня из стальных проволок и наружная оболочка из материала, не распространяющего горение; <i>G</i> – однослойная броня из стальных проволок и наружная оболочка из галогенонесодержащего материала, не распространяющего горение; <i>M</i> – несущие силовые элементы из диэлектрических стержней и наружная полиэтиленовая оболочка; <i>K</i> – несущие силовые элементы из диэлектрических стержней и наружная оболочка из дугостойкого материала; <i>2</i> – двухслойная броня из стальных проволок и наружная полиэтиленовая оболочка; <i>T</i> – несущие силовые элементы из арамидных пряжей и наружная полиэтиленовая оболочка; <i>P</i> – несущие силовые элементы из арамидных пряжей и наружная оболочка из дугостойкого материала; <i>O</i> – без защитного покрова
					Тип внутренней оболочки <i>П</i> – полиэтиленовая; <i>B</i> – из материала повышенной теплостойкости; <i>H</i> – из материала, не распространяющего горение; <i>G</i> – из галогенонесодержащего материала, не распространяющего горение; <i>A</i> – двухслойная: водоблокирующий слой из алюминиевой ленты с полимерным покрытием и слой из полиэтилена; <i>O</i> – без внутренней оболочки
					Тип центрального силового элемента <i>Д</i> – диэлектрический; <i>С</i> – стальной; <i>Т</i> – трубчатый сердечник
Фирма-изготовитель – Оптен					

Рисунок 6.3 – Пример маркировки ОК

В курсовом проекте необходимо спроектировать и подробно описать кабели, предназначенные для проектируемой линии связи, включающей в себя как минимум три участка с различными технологиями прокладки. После этого нужно выбрать из существующих аналогов наиболее близкий по параметрам к разработанному вами. Далее во всех расчетах использовать выбранный кабель.

Примеры типов оптических кабелей и сферы их применения показаны в Приложениях В и З.

6.6 Выбор передающего и приёмного оптических модулей

6.6.1 Передающий оптический модуль (ПОМ)

Оптический передатчик обеспечивает преобразование входного электрического сигнала в выходной оптический сигнал. Для этих целей используются инфракрасные светоизлучающие диоды СИД (LED) или лазерные диоды ЛД (ILD). Для них характерны широкий диапазон длин волн (от ближнего ИК до ближнего УФ диапазона) и мощностей (до десятков мВт), высокий КПД, возможность прямой модуляции током до нескольких десятков ГГц – все это достоинства полупроводниковых источников. Длина волны генерируемого излучения определяется параметрами полупроводника.

Основными характеристиками ПОМ являются:

- излучение света на заданной длине волны;
- мощность излучения;
- ширина спектра излучения;
- диаграмма направленности;
- минимально-возможные габариты и вес;
- значительный срок службы (10-20 лет).

При выборе источника излучения нужно учитывать что:

- для передачи во внутриобъектовых системах целесообразно использовать СИД;
- для передачи в зонавых и магистральных системах передачи – лазерные диоды.

СИД. Излучение СИД некогерентно, что обусловлено спонтанным характером рекомбинации. Простейшая конструкция СИД – обычный *p-n* гомопереход, однако использование двойной гетероструктуры (ДГС) за счет пространственной локализации носителей заряда и излучения в активной области дает большую мощность и узкую диаграмму направленности выходного излучения.

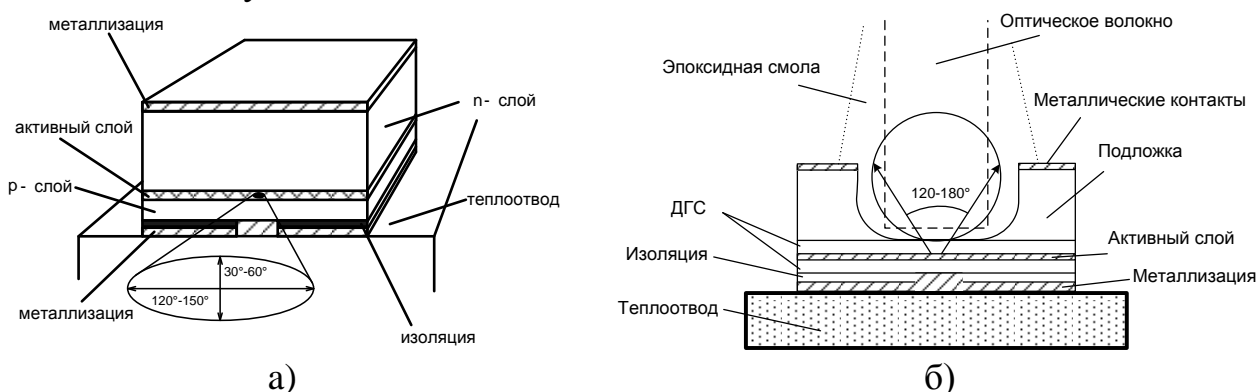


Рисунок 6.4 – Конструкция СИД а) торцевого и б) поверхностного типов

Две конструкции СИД получили широкое распространение: *торцевые* и *СИД с поверхностным излучением* (см. рис.6.4 а,б). Торцевые СИД просты в изготовлении и недороги, но их излучение представляет собой эллиптический пучок, что усложняет согласование источника с ОВ. СИД поверхностного излучения дают круговой пучок, их конструкция позволяет непосредственно

соединить излучающую поверхность СИД с торцом ОВ, но выходная мощность излучения меньше, чем у торцевых СИД. Ширина линии излучения СИД в зависимости от конструкции лежит в пределах 30-60 нм. Также следует отметить зависимость центральной длины волны (0,5-0,8 нм/°С) и ширины линии излучения (0,4 нм/°С) от температуры.

В таблице 6.6 приведены технические характеристики СИД различных конструкций производства компании PD-LD Inc.

Таблица 6.6 - Технические характеристики СИД производства компании PD-LD Inc.

Параметр	Модель	
	PS85	PE13W
Тип СИД	Поверхностный	Торцевой
Длина волны, мкм	0.85	1.31
Диапазон рабочих температур, С °	-20-+60	-10 - +60
Рабочий ток, мА	100 – 110	0-150
Выходная мощность, мкВт	15 – 45	5-20
Расходимость пучка, р°/ t°	120-180/120-180	30-70/180
Ширина спектральной линии, нм	35 – 60	60
Время нарастания, нс	6 – 7	2,5-10
Частота модуляции, МГц	0-150	0-300
Рабочий ток, мА	100 – 110	0-150
Время наработки на отказ, млн. ч	1-10	50-100

Лазерный диод. Другим типом источника, используемого в ПОМ, являются лазерные диоды. На рис.6.5 видно, что ваттамперная характеристика ЛД, в отличие от СИД, обладает ярко выраженной нелинейностью, связанной с наличием порога лазерной генерации.

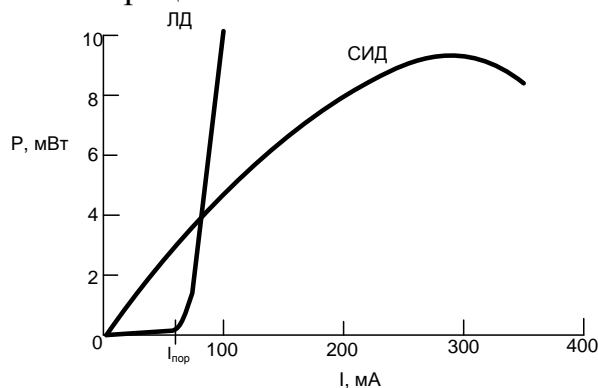


Рисунок 6.5 – Сравнение ваттамперных характеристик СИД и ЛД.

Простейший ЛД реализуется на основе ДГС с использованием резонатора Фабри-Перо (РФП). Спектр излучения такого типа ЛД, в отличие от сплошного спектра СИД (рис.6.6 а), представлен дискретным набором мод РФП (см. рис.6.6б). Многомодовые лазеры на основе РФП относительно недороги в изготовлении и находят применение в системах связи со скоростями до 2 Гб/с.

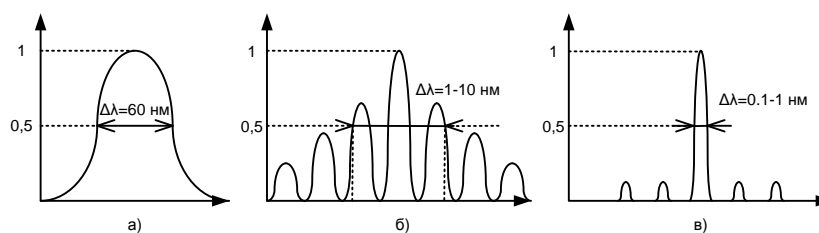


Рисунок 6.6 - Спектры а) – СИД; б) – ЛД с РФП; в) – РОС-лазер

Таблица 6.7 - Сводка параметров СИД типа ELED и других ЛД^{а)}

Параметр	СИД ELED	FP лазер	DFB-внешним модулято	Лазер типа VCSEL
Длина	850/1310	1310/1550	1550	850/1310
Мощность на стыке с ОВ	-10- -15	0.0	0.0	0.0
Спектральная ширина линии	30-60	< 3	<0,1	< 3
Максимальн скорость,	< 0.155	>2	> 10 ⁶ >	2
Тип волокна	многомо вое	олномолов	со лисперси	многомолво или
Цена	низкая	умерен но	высокая	умеренная
MTBF" ^{>} ,	10'	10 ⁸	10 ⁷	10 ⁸

а) Спектральная ширина линии определяется в терминах полной ширины на половине от максимума (FWHM). Это спектральная ширина излучаемого светового сигнала оптического источника, измеренная в нанометрах на уровне половины пикового значения мощности.

б) В настоящее время это значение расширено до 40 Гбит/с, но может быть и больше.

в) MTBF — среднее время наработки на отказ. Это значение оценочное, при условии, что устройство работает в нормальных условиях.

Одномодовые лазеры. Наличие в спектре источника множества мод приводит к значительной дисперсии и шумам, неприемлемым для передачи информации по ОВ на скоростях выше 5 Гбит/с, поэтому для таких систем источник должен быть одномодовым (рис. 6.6 в).

Существует несколько способов обеспечить одномодовый режим. Ограничение продольных мод РФП реализуется в структурах с распределенной обратной связью (РОС или DFB) и с распределенными брэгговскими отражателями (РБО или DBR).

Для всех рассмотренных выше конструкций ЛД характерно то, что выходной луч в поперечном сечении представляет собой эллипс в лучшем случае с коэффициентом сжатия 3:1. Для обеспечения минимальных потерь при вводе излучения в ОВ для такого пучка требуется использование дополнительной оптики, например, цилиндрических или градиентных линз.

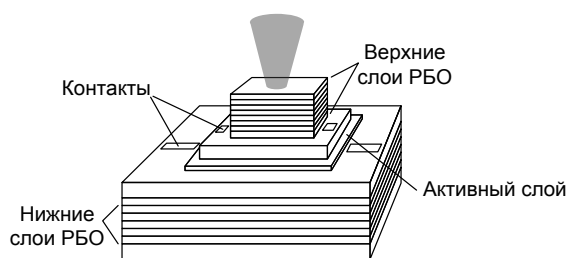


Рисунок 6.7 – Типичная структура VCSEL-лазера.

VCSEL-лазеры. Лазер типа VCSEL (Vertical Cavity Surface Emitting Laser – Лазер поверхностного излучения с вертикальной резонаторной полостью) свободен от этого недостатка и излучает круговой пучок света. Как видно из рис.6.7 VCSEL-лазер представляет собой вертикальную структуру из ряда РБО-слоев p -типа, активной области, и ряда РБО-слоев n -типа. Излучение выводится в направлении перпендикулярном плоскости активного слоя, аналогично тому, как это делается в СИД с излучающей поверхностью, а наличие РБО-слоев обеспечивает одномодовый режим генерации. Длина резонатора составляет около 1 мкм (у полосковых она около 200-300 мкм), а диаметр излучающей площадки VCSEL около 2-3 мкм. Ширина линии излучения лазеров типа VCSEL не превышает 3 нм, что ниже, чем у лазеров на основе РПП, однако и выходная мощность тоже ниже, чем у других типов ЛД. Стоимость их относительно низка по сравнению, например, с DFB-лазерами, поэтому VCSEL-лазеры широко применяются как в ВОСП, так и в ЛВС.

Таблица 6.8. Примеры типичных значений технических характеристик ЛД различных конструкций.

Параметр	Тип ЛД		
	ММ РПП	РОС	VCSEL
Длина волны, мкм	1.3-1.55	1.3-1.55	0.85-1.3
Выходная оптическая мощность, мВт	1-10	15-30	0.5-1
Ширина линии излучения, нм	2-5	0,01-0,1	<3
Верхняя частота модуляции, ГГц	>2	5-20	2-5
Рабочий ток (пороговый), мА		100-150 (10-25)	12 (3-5)
Уход λ по температуре ($d\lambda/dT$), пм/С°	-	90-150	-
Уход λ по току ($d\lambda/dI$), пм	-	8-15	-
Время наработки на отказ, млн ч	10	0.5-10	10

Таблица 6.9 – Типы ПОМ

Модель (тип)	Длина волны, нм	Выходная мощность, мВт	Ток накачки, мА	Ширина спектральной линии, нм	Скорость передачи, Мбит/с
ПОМ-361	1250-1350	0,1 ÷ 0,2	150	100	-
ПОМ-15А	1270-1330	0,5 ÷ 0,1	40 ÷ 80	5	5000
МДП-7	1200-1350	1	-	-	8
ПОМ-14М	1270-1330	1,5 ÷ 3	40 ÷ 80	0,1 ÷ 8	560
ПОМ-15Б	1500-1580	0,5 ÷ 0,1	70 ÷ 120	0,01	2400

ПОМ-13Б	1500-1580	0,5 ÷ 0,1	80 ÷ 120	0,1	3000
ПОМ-14Б	1520-1580	1 ÷ 2	40 ÷ 80	0,1 ÷ 8	560

Перестраиваемые источники излучения. В связи с развитием WDM систем возникла необходимость в перестраиваемых источниках излучения. Они применяются в оптических мультиплексорах ввода-вывода, региональных оптических сетях, длинных и ультрадлинных пролетах. К важнейшим характеристикам перестраиваемых источников, помимо требований к источникам с фиксированной длиной волны, относятся диапазон перестройки; время перестройки, а также постоянство выходной мощности и ширины линии излучения при перестройке.

Для примера в таблице 6.9 приведены основные характеристики отечественных передающих оптических модулей (ПОМ). Данные по зарубежным ПОМ можно найти в рекламных проспектах фирм изготовителей. [Приложение Е]

Таблица 6.10- Сравнительные характеристики настраиваемых лазеров.

Тип лазера	Преимущества	Недостатки	Применен
С распределенной обратной связью (DFB)	стабильность излучения; в процессе производства	относительно низкая выходная мощность ¹⁾ ; ограниченный диапазон настройки	для узкого диапазона настройки; широко используется в длинных секциях
С распределенным брэгговским отражателем (DBR)	высокая скорость переключения ²⁾	большая ширина линии; нестабильность длины волны	сети доступа; оптические мультиплексоры ввода-вывода
Типа (DBR) с выбранными решетками	широкий диапазон настройки; высокая скорость переключения ⁴⁾	низкая выходная мощность; большая ширина линии; отсутствие непрерывной настройки	сети доступа; региональные сети; оптические мультиплексоры ввода-вывода
С вертикальной полостью и излучающей поверхностью (VCSEL)	малая ширина линии при $0/P^{3)}$; низкое потребление; круговой луч; широкий диапазон настройки	низкая выходная мощность при $E/P^{3)}$; ограничен коротковолновыми диапазонами 850/1310 нм	региональные сети и сети доступа
С внешними резонансными микрополостями и	высокая мощность; малая ширина линии; низкий уровень RIN; непрерывность и широкий диапазон настройки	скорость настройки чувствительна к ударам и вибрациям	длинные и ультрадлинные секции; OADM для региональных сетей; сети с коммутацией

¹⁾ DFB-лазер с фиксированной длиной волны имеет > 20 мВт выходной мощности, а

настраиваемые DFB-лазеры имеют ограниченную мощность.

²⁾ Когда не требуется термостабилизация. При использовании термостабилизации типичное время настройки составляет > 25 мс

³⁾ О/Р — с оптической накачкой. Е/Р — с электрической накачкой. VCSEL имеет обычно узкую спектральную линию, но большую мощность на выходе при О/Р и, наоборот, широкую спектральную линию (~ 150 МГц) и небольшую мощность на выходе при Е/Р.

6.6.2 Приемный оптический модуль (ПрОМ)

Основным элементом приёмного оптического модуля (ПРОМ) является фотодиод (ФД).

К применяемым в ВОСП ФД предъявляют следующие основные требования:

- высокая чувствительность,
- требуемые спектральная характеристика и широкополосность,
- низкий уровень шумов,
- требуемое быстродействие,
- большой срок службы.

Этим требованиям в настоящее время больше всего удовлетворяют рпн и лавинные фотодиоды (ЛФД), имеющие очень малую инерционность. При выборе фотоприемника учитывают, что для внутриобъектовых и зонных каналов лучше использовать рпн фотодиоды, а для магистральных – ЛФД.

В таблице 6.11 представлены некоторые технические характеристики фотоприемных модулей. Все они имеют спектральный диапазон 700...1600 нм. (ЛМ означает лавинный ФД).

Таблица 6.11 – Типы ПрОМ

Тип модуля	Скорость, Мбит/с	Динамический диапазон, дБ	Чувствительность, дБм	Напряжение питания, В
ФПМ-8М/ЛМ	1 – 8	40	-50/-64	+5; -5/+5; -5; +45
ФПМ-34М/ЛМ	8 – 34	30	-50/-60	+5; -5/+5; -5; +45
ФПМ-155М/ЛМ	34 – 155	30	-44/-54	+5; -5/+5; -5; +45
ФПМ-622М	622	>20	-37	+5; -5
ФПМ-622ЛМ	622	>30	-44	+5; -5; +45

Квантовый предел чувствительности фотоприемника зависит от скорости передачи информации и для PIN-фотодиода данная зависимость представлена на рис. 6.8.

Влияние шумов значительно и поэтому требуемая минимальная мощность должна быть увеличена на 15 дБ при использовании ЛФД и на 30 дБ– при использовании р-і-п фотодиода. Это обеспечит требуемый запас помехоустойчивости и вероятность ошибки менее 10^{-9} .



Рисунок 6.8 – Зависимость чувствительности типичного цифрового оптического приемника

В таблице 6.12 представлены данные чувствительности PIN и APD разных фирм-изготовителей для скоростей передачи STM-1÷STM-64 при значении BER=10⁻¹⁰.

Таблица 6.12 - Уровни приема для PIN- и APD- фотоприемников при значении BER=10⁻¹⁰

Скорость передачи	Уровень (дБм)	Комментарий
155 Мбит/с	-33	Alcatel, PIN
2,5 Гбит/с	-26	Alcatel, APD
622 Мбит/с	-27	Alcatel, PIN
155 Мбит/с	-35	Alcatel, PIN
622 Мбит/с	-28	ITU-T G.957
2,5 Гбит/с	-23	Lucent, PIN
2,5 Гбит/с	-32	Lucent, APD
155 Мбит/с	-38	Fujitsu, PIN
10 Гбит/с	-16,3	Discovery, PIN
10 Гбит/с	-26	Epitaxx, APD

6.7 Пассивные компоненты и их характеристики

Практически каждое устройство, применяемое в схеме передачи оптического сигнала, является источником вносимых потерь, кроме того, это устройство может быть также источником отражений. Поэтому обязательно должен быть произведён учёт влияния пассивных компонентов. Основными такими элементами, рассматриваемыми в данной главе, будут оптические разветвители и оптические соединители. Если говорить строго, то существует множество видов оптических пассивных компонентов [10,11]:

- оптические разветвители, расщепители сигнала (сплиттеры), элементы разветвления потока;

- оптические изоляторы;
- волоконно-оптические фильтры;
- оптические аттенюаторы;
- оптические (пассивные) коммутаторы;
- пассивные компенсаторы (хроматической) дисперсии;
- оконечные (терминирующие) элементы;
- распределительные панели;
- кроссовые шкафы;
- соединительные муфты;
- розетки, шнуры и т.п.

Но при выполнении данного курсового проекта, в большинстве случаев, придется столкнуться с оптическими разветвителями и соединителями.

Оптический разветвитель – это неселективный пассивный элемент, обладающий тремя или более портами и распределяющий мощность между ними в определённом соотношении без какого-либо усиления, переключения или модуляции. Кроме того, таким термином называют структуру, распределяющую оптическую мощность между двумя оптическими волокнами или между активным устройством и волокном.

Оптический соединитель (коннектор) – элемент, прикреплённый к одному из оптических кабелей или отдельной части оборудования для осуществления частых соединений/разъединений оптических волокон или кабелей [10]. Технические характеристики оптических соединителей приведены в приложении Ж.

Основными функциональными параметрами пассивных компонентов являются:

1. Вносимые потери (I_L) – это уменьшение оптической мощности между входным и выходным портами пассивного элемента. Фактически, вносимые потери определяют потери оптической мощности, вызванные внесением/наличием такого оптического элемента, как оптический разъём, разветвитель.
2. Возвратные потери (R_L) – часть входной мощности, которая возвращается из входного порта пассивного элемента.
3. Отражательная способность (R) – отношение отраженной мощности к падающей мощности, определенное для данного порта пассивного элемента при заданных условиях спектрального распределения, поляризации и геометрического распределения.
4. Обратные потери – мера уменьшения оптической мощности, распространяющейся в обратном направлении, в результате установки изолятора.
5. Рабочий диапазон длин волн – это диапазон длин волн в пределах заданного от номинального значения, внутри которого пассивные элементы должны работать с определёнными показателями ошибок.
6. Потери, зависящие от поляризации (PDL) – эти потери соответствуют максимальной вариации вносимых потерь, вызванной вариацией

состояния поляризации, рассматриваемой на множестве всех возможных состояний поляризации.

7. Рабочая длина волны – это номинальная длина волны, на которой пассивный элемент должен работать с надлежащими показателями.

Рабочие характеристики некоторых образцов оптических ответвителей и разветвителей представлены в таблице 6.13 :

Таблица 6.13 – Технические характеристики разветвителей 1x2

	SSC		WFC		WIC		EIC		FIC	
	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
Рабочий диапазон	1310±5 или 1550±5 нм		1310±40 или 1550±40 нм		1310±40 и 1550±40 нм		1310±50 и 1550- 100/+50		1310±50 и 1550±100 нм	
Выходы	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2	N1	N2
Деление	Макс. вносимое затухание (дБ)									
50/50%	3,4	3,4	3,4	3,4	3,6	3,6	4,0	4,0	4,2	4,2
60/40%	2,5	4,3	2,5	4,3	2,7	4,7	3,0	5,2	3,2	5,4
67/33%	2,0	5,2	2,0	5,2	2,2	5,6	2,5	6,2	2,7	6,4
70/30%	1,8	5,6	1,8	5,6	2,0	6,1	2,2	6,8	2,4	7,0
80/20%	1,1	7,4	1,1	7,4	1,4	8,4	1,5	9,0	1,7	9,2
90/10%	0,6	10,6	0,6	10,6	0,8	11,7	0,9	12,8	1,1	13,0
95/5%	0,4	14,1	0,4	14,1	0,5	15,3	0,6	16,6	0,8	16,8
99/1%	0,2	23,1	0,2	23,1	0,2	23,1	0,4	24,5	0,6	24,7
Поляризационная стабильность	<0,1 дБ		<0,1 дБ		<0,1 дБ		<0,1 дБ		<0,1 дБ	
Термическая стабильность	<0,1 дБ		<0,1 дБ		<0,1 дБ		<0,1 дБ		<0,1 дБ	
Обратное рассеяние	>65 дБ для 2x2 разветвителей, >55 дБ для 1x2 разветвителей									

Примечание: в таблице 6.13 представлены характеристики разветвителей фирмы Diamond Fiber Optic. Стандартная длина выводов этих разветвителей 2 м. В таблице приняты следующие сокращения:

SSC – Standard Singlemode Couplers;

WFC – Wavelength Flattened Couples;

WIC – Wavelength Independent Coupler;

EIC – Expanded Wavelength Independent Coupler;

FIC – Full Range Independent Coupler.

6.8 Расчет энергетического запаса системы

Проектирование линии основано на расчете его бюджета. Цель состоит в том, чтобы иметь наиболее эффективный (по цене) проект, способный удовлетворить нашим требованиям. При его расчете на практике приходится определять такие параметры линии, как:

- выходную мощность источника света;

- потери в волокне;
- потери от оптических разъемов, сростков, соединительных шнуров;
- допуски.

Энергетический запас элементарного канала рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E} = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_{\text{пер}}}{P_{\text{ф}}} \right) = P_{\text{пер}} - P_{\text{ф}}, \quad (6.42)$$

где $P_{\text{пер}}$ и $p_{\text{пер}}$ – мощность и уровень мощности вводимой в волокно;

$P_{\text{ф}}$ и $p_{\text{ф}}$ – мощность и уровень мощности чувствительности приемника.

При этом в зависимости от выбранного кода в линии средний уровень мощности определяют исходя из выражения из следующего выражения:

$$P_{\text{пер}} = P_{\text{с}} - \Delta P, \quad (6.43)$$

где $P_{\text{с}}$ – уровень средней мощности оптического сигнала;

ΔP – изменение средней мощности, зависящее от кода (для NRZ $\Delta P = 3$ дБ, для RZ $\Delta P = 6$ дБ, для других кодов – пропорционально увеличению полосы по отношению NRZ).

Уровень вводимой мощности в волокно для СИД пропорционален квадрату апертуры:

$$P_{\text{с}} = P_{\text{изл}} \cdot (\text{NA})^2. \quad (6.44)$$

Обычно $\text{NA} = 0,2 \dots 0,3$, т.е. при $\text{NA} = 0,2$ $(\text{NA})^2 = 4\%$, что соответствует потерям мощности 14 дБ, однако в последние годы за счёт технологических совершенствований удалось довести потери до 2-4 дБ.

Для устойчивой работы канала необходимо, чтобы энергетический потенциал не превышал величины потерь:

$$\mathcal{E} > \alpha_{\text{к}}. \quad (6.45)$$

Суммарные потери в канале определяются соотношением

$$\alpha_{\text{к}} = \alpha \cdot L_{\text{к}} + \alpha_{\text{нс}} \cdot N_{\text{нс}} + \alpha_{\text{рс}} \cdot N_{\text{рс}}, \quad (6.46)$$

где $L_{\text{к}}$ – длина канала;

α – погонное затухание, дБ/км;

$N_{\text{нс}}$ – число неразъемных соединений;

$N_{\text{рс}}$ – число разъемных соединений;

$\alpha_{\text{нс}}$ – затухание единичного неразъемного соединения;

$\alpha_{\text{рс}}$ – затухание единичного разъемного соединения.

Если неравенство (6.45) не соблюдается, то необходимо либо уменьшать длину $L_{\text{к}}$ либо выбирать ВОК с меньшим затуханием – перейти на другую рабочую длину, либо выбрать ПОМ с большей мощностью, либо увеличить чувствительность ПРОМ. Однако необходимо учитывать что чем лучше

параметры ПОМ и ПРОМ тем дороже они стоят и здесь необходимо учитывать критерий цена/качество.

В практически используемых ВОЛС необходимо всегда предусматривать энергетический запас, учитывающий деградацию компонентов при различных эксплуатационных воздействиях. Как правило, он составляет 2...4 дБ максимум 6 дБ.

6.9 Определение длины регенерационного участка

Если приемная и передающая станции удалены на большое расстояние друг от друга (~100 и более км), могут потребоваться дополнительно одно или несколько регенерационных устройств для усиления оптического сигнала, ослабевающего в процессе его распространения, а также для восстановления фронтов импульсов. В качестве таких устройств используются повторители и оптические усилители.

Повторитель, который восстанавливает форму оптического сигнала до первоначальной, называется регенератором.

В линейных регенераторах имеются два полукомплекта (для прямого и обратного направлений передачи), которые преобразуют оптический сигнал в электрический; последний регенерируется, усиливается и затем обратно преобразуется в оптический сигнал, передаваемый далее по ОК.

При выполнении курсового проекта, после того как выбраны система передачи и оптический кабель, на основе заданных характеристик качества связи и пропускной способности линии определяют, если необходимы, длины регенерационных участков l_p .

Необходимость использования регенераторов обуславливается двумя факторами: с одной стороны по мере распространения оптического сигнала по кабелю происходит снижение уровня мощности, с другой стороны – уширение передаваемых импульсов. Таким образом, длина l_p ограничена либо затуханием α , либо дисперсией в линии τ и выбирается наименьшее значение.

На рисунке 6.9 показан участок регенерации между выходом i -го и $i+1$ регенераторов.

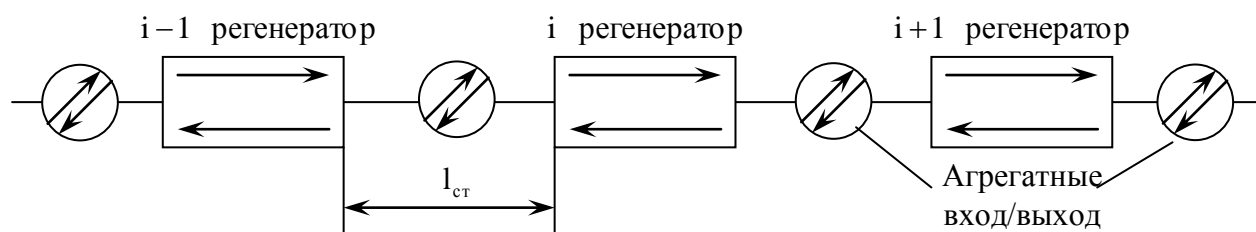


Рисунок 6.9 – Участок регенерации

В общем случае длина регенерационного участка состоит из строительных длин $l_p = l_{ст} \cdot n$, где n – число строительных длин.

Таблица 6.14 – Типовые потери в разъемах и соединениях оптических кабелей

Тип оптического волокна	Потери в соединениях, дБ	
	разъемных	неразъемных
Ступенчатый профиль	0,5...1,0	0,2...0,3
Градиентный профиль	0,5...1,5	0,3...0,5

Ряд расчётных соотношений может быть использован для определения для длины линии связи в СКС при использовании МОВ и СИД. Разъемные соединители устанавливаются только в начале и конце регенерационного участка при стыковке выхода источника излучения (СИД или ЛД) с оптическим волокном и оптического волокна с фотоприемником. Потери на разъемных соединениях в несколько раз выше потерь на неразъемных соединениях (таблица 6.14).

I_p находится из условия, что уровень сигнала на входе регенератора не должен быть ниже минимально допустимого уровня приема $P_{пр\ min}$, при котором обеспечивается требуемая достоверность передачи сигналов. Обозначив уровень передачи на выходе регенератора $P_{пер}$, имеем:

$$P_{пер} = P_{пр\ min} + \alpha \cdot l_p + n_k \cdot \alpha_k + 2 \cdot \alpha_p + \alpha_{мак}, \quad (6.47)$$

где α_n , α_p – затухание в неразъемных и разъемных соединениях соответственно;

$\alpha_{мак}$ – затухание на макроизгибах;

n_n – количество неразъемных соединений на регенерационном участке, устанавливаемых на стыках строительных длин:

$$n_n = \frac{l_p}{l_{сд}} - 1, \quad (6.48)$$

где $l_{сд}$ – строительная длина ОК, (обычно $l_{сд} = 1; 2; 4; 6$ км.) и выбирается в зависимости от конструкции.

Таким образом, длину участка регенерации можно определить по формуле [4]:

$$l_{пу} = \frac{\mathcal{E} - \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 - \alpha_{нс} - 2 \cdot \alpha_{рс}}{\alpha_k + \alpha_{нс}} \cdot l_{сд}, \quad (6.49)$$

где: \mathcal{E} – энергетический потенциал аппаратуры;

$\alpha_{нс}$ – затухание неразъемных соединений;

$\alpha_{рс}$ – затухание разъемных соединений;

α_k – суммарное затухание кабеля;

$l_{сд}$ – строительная длина кабеля;

\mathcal{E}_1 – энергетический запас линейный;

\mathcal{E}_2 – энергетический запас аппаратный.

В процессе эксплуатации системы передачи потери могут возрасти за счёт старения кабеля и самой аппаратуры. Старение кабеля и его ремонт в

процессе эксплуатации учитывает параметр линейного энергетического запаса $\mathcal{E}_1 = 3$ дБ. Деграция лазера, измерение параметров фотодиода, транзисторов и так далее учитывает аппаратный энергетический запас $\mathcal{E}_2 = 3$ дБ. Следовательно при проектировании рекомендуемый запас надежности ВОЛС должен составлять от 5 до 10 дБ. При проектировании необходимо учитывать, что фотоприемник имеет предел максимальной мощности сигнала, который может быть получен без искажений. Разница между максимальной мощностью, которая может быть принята, и чувствительностью приемника называется динамическим диапазоном. Важно не выходить за пределы динамического диапазона приемника. Чтобы не допустить этого, на трассе ОВ должно быть доступно существенное ослабление, т.е. введение аттенюатора.

Для учета дисперсии (уширения) сигнала необходимо выполнить требование:

$$\tau_0 \cdot l_p \leq T, \quad (6.50)$$

где T , F_T – длительность тактового интервала и тактовая частота сигнала в выбранной системе передачи соответственно;

В курсовом проекте предполагается использование NRZ – код, для которого:

$$l_p = \frac{\Delta F}{0,44 \cdot B} = \frac{\Delta F}{0,44 \cdot f_m}, \quad (6.51)$$

f_m - тактовая частота линейного цифрового сигнала.

В паспортных данных ООВ обычно указана удельная хроматическая дисперсия D . В этом случае формулу для длины регенерационного участка по дисперсии лучше представить в виде

$$l_p = \frac{1}{4D(\lambda)\Delta\lambda B} \quad (6.52)$$

т.е. для выбранного ОВ длина участка регенерации обратно пропорциональна скорости передачи системы.

При использовании ОК с ОВ с выбранными в соответствии с рекомендации в G652-G655 в каждом конкретном случае заводом изготовителем даётся расчётное соотношение для $D(\lambda)$. Для расчета $D(\lambda)$ можно воспользоваться формулами, приведенными в разделе 6.4.

6.10 Методы увеличения пропускной способности

6.10.1 Компенсация дисперсии

При расчетах может получиться так, что длина регенерационного участка по затуханию получится больше, чем длина регенерационного участка по дисперсии. Тогда можно использовать метод компенсации дисперсии. В настоящее время предложено и исследовано большое количество способов компенсации дисперсии. Их можно разделить на следующие три класса:

- способы, основанные на управлении пространственным распределением дисперсии волоконно-оптической линии связи для обеспечения нулевого суммарного значения дисперсии для всей линии. Принцип заключается в том, что в ВОЛС между участками ОВ устанавливаются устройства, дисперсия которых равна по величине и противоположна по знаку дисперсии предшествующего им участка телекоммуникационного ОК.
- способы, основанные на управлении передатчиком или приемником излучения. К этому классу относятся устройства, использующие либо модуляцию передаваемого сигнала, либо специальную обработку сигналов на фотоприемнике для восстановления информации.
- способы, использующие нелинейные оптические эффекты для управления пространственно-временными характеристиками светового импульса. К классу нелинейно-оптических методов компенсации хроматической дисперсии относится инверсия спектра световых сигналов в середине линии связи.

Класс устройств, основанных на управлении пространственным распределением дисперсии волоконно-оптической линии связи для обеспечения нулевого суммарного значения дисперсии для всей линии, является наиболее удобным и находит наибольшее практическое применение.

Наиболее распространенными устройствами для компенсации дисперсии ВОЛС являются: отрезки компенсирующего дисперсию волокна (DCF);

Устройства компенсации дисперсии DCD (Dispersion Compensation Devices) придают сигналу равную по величине, но противоположную по знаку дисперсию и восстанавливают первоначальную форму импульсов. Обычно DC волокно наматывается на катушку, образуя модуль – *модуль компенсации дисперсии (DCM – Dispersion Compensation Module)*, который включается в определенных точках магистрали, так что среднее значение дисперсии ЭКУ (элементарного кабельного участка)

$$\bar{D} = D_{xp1}l_1 - D_{xp2}l_2 = 0 \quad (6.53)$$

Возможности компенсации дисперсии волокон могут быть оценены с помощью *коэффициента относительной крутизны дисперсионной кривой RDS*, который определяется как отношение крутизны дисперсионной кривой к величине хроматической дисперсии :

$$RDS = S / D, \quad (6.54)$$

где D и S есть величина дисперсии и крутизна дисперсионной кривой на единицу длины соответственно. Если RDS волокна *DSCF (Dispersion and its Slope Compensation Fiber – волокно со специально подобранной величиной дисперсии и наклона коэффициента дисперсии)* является таким же, как и передающего волокна, то становится возможной полная компенсация наклона дисперсионной кривой передающего волокна путем подбора длины DSCF, подобно тому, как осуществляется компенсация полной дисперсии волокна. *Степень компенсации наклона ($C_{кн}$)* может быть представлена следующим выражением :

$$C_{кн} = RDS_{DSCF} / RDS_{iF} \quad (6.55)$$

Если RDS волокна DSCF компенсатора и волокна одинаковы, то степень компенсации наклона составляет 100% и результирующая дисперсия после компенсации становится близкой к нулевому значению.

Другой важной характеристикой DSCF компенсаторов является *показатель качества, или эффективность (FOM)*. Он определяется как величина дисперсии на единицу потерь в волокне :

$$FOM = D_{DSCF} / \alpha_{DSCF} \quad (6.56)$$

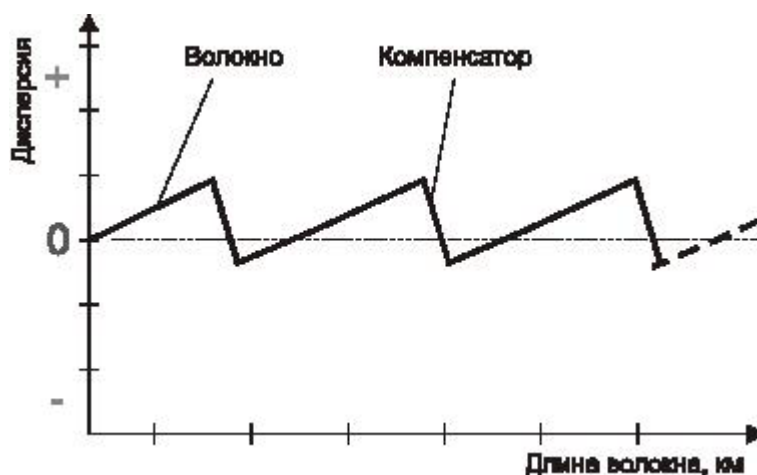


Рисунок 6.10 – Принцип компенсации дисперсии

В настоящее время в большинстве модулей компенсации дисперсии используется DC волокно, т.к. такие модули не потребляют мощность, имеют малую стоимость и удобны в применении (обычно размещается на выходе оптического усилителя).

Основными производителями модулей с DC волокнами являются компании Corning и Lucent Technologies. В таблице 6.15 для сравнения показаны технические характеристики устройств, производимых этими компаниями.

Таблица 6.15 – Технические характеристики компенсаторов дисперсии

Компания	Corning			Lucent Technologies		
	DCM-40	DCM-60	DCM-80	DK-40	DK-60	DK-80
Тип модуля						
Компенсированная длина линии	40	60	80	40	60	80
Вносимое затухание, дБ	5,0	6,8	8,6	5,2	7,0	7,9
Среднее значение PMD, пс	1,1	1,4	1,5	0,6	0,75	0,9
Полная дисперсия, пс/нм	-658	-988	-1317	-680	-1020	-1360

Не стоит забывать, что компенсаторы дисперсии вносят значительное затухание, и это необходимо учитывать при расчете на затухания.

6.10.2 Оптические усилители

Использование оптических усилителей позволяет напрямую усиливать ослабленные в ОВ сигналы, т.е. ретрансляция осуществляется без преобразования оптических импульсов в электрические и обратно, что значительно увеличивает пропускную способность ВОЛС.

В настоящее время в ВОЛС наиболее широко используются следующие типы ОУ:

- 1) полупроводниковые усилители;
- 2) усилители на основе нелинейных явлений в ОВ;
- 3) усилители на примесном ОВ.

Полупроводниковые усилители подразделяются на усилители бегущей волны (УБВ) и усилители Фабри-Перо (УФП). Их отличает экономичность, простая конструкция, высокий коэффициент усиления (25...30 дБ). Полупроводниковые усилители могут работать во втором и третьем окнах прозрачности. Важной особенностью УФП является то, что они всегда могут быть перестроены для усиления *только на одной определенной длине волны*. Это позволяет широко использовать их в оптических коммутаторах и демультиплексорах WDM-систем.

Во втором типе ОУ обычно используются рамановское рассеяние (рамановские усилители) и вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ-усилители). Эти нелинейные эффекты дают возможность преобразовать часть энергии мощной волны накачки в слабую сигнальную волну. При малом входном сигнале ОУ обеспечивают усиление до 40 дБ во 2-м и 3-м окнах прозрачности. У ВРМБ-усилителей выходной сигнал сосредоточен в узком диапазоне (меньше 100 МГц), они используются для узкополосного усиления, в то время как рамановские усилители широкополосные (5...10 ТГц), они используются в WDM-системах. Большие переходные помехи между усиливаемыми каналами - существенный недостаток рамановских усилителей.

Эрбиевые волоконные усилители. Наиболее широко в ВОЛС применяются ОУ третьего типа, а именно эрбиевые волоконные усилители (EDFA, Erbium Doped Fiber Amplifiers). Основной рабочий диапазон усилителей EDFA лежит в пределах длин волн 1525–1565 нм.

Усиливающая среда EDFA - отрезок волокна, легированный редкоземельным элементом – эрбием. При прохождении по нему оптического сигнала и сигнала накачки с другой длиной волны, ионы эрбия начинают резонировать с проходящим излучением, отдавая ему часть своей энергии и усиливая тем самым проходящий световой сигнал.

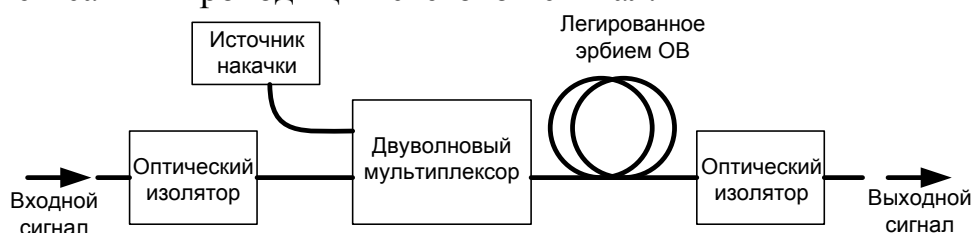


Рисунок 6.11 – Структурная схема эрбиевого волоконного усилителя

Упрощенная схема эрбиевого волоконного усилителя представлена на рис.6.11. Оптическая накачка, необходимая для перевода ионов эрбия в возбужденное состояние, осуществляется мощными полупроводниковыми лазерами (200-500 мВт) на длинах волн 980 и 1480 нм. Для объединения входного оптического сигнала и излучения накачки используются мультиплексоры. Необходимыми элементами оптических усилителей являются оптические изоляторы, предотвращающие проникновение в усилитель отраженных сигналов.

Как правило, коэффициент усиления 15-20 дБ в диапазоне 1520-1580 нм. У лучших промышленных усилителей EDFA коэффициент усиления достигает 40 дБ при полосе 30-40 нм.

В ВОЛС распространены три схемы включения EDFA:

1) усилитель мощности (бустер), который используется для увеличения выходной мощности передатчика и устанавливается на его выходе (рис. 6.12 а);

2) линейный усилитель, который, как правило, устанавливается в середине линии связи для компенсации возникающих в ней потерь (рис. 6.12 б);

3) оптический предусилитель, который используется для повышения чувствительности приемника и устанавливается на его входе (рис. 6.12 в).

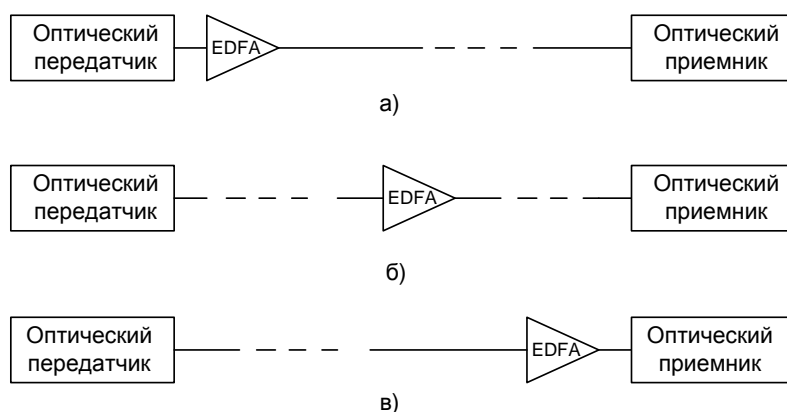


Рисунок 6.12 – Схемы включения эрбиевых волоконных усилителей:

а) усилитель мощности; б) линейный усилитель; в) предусилитель;

В таблице 6.16 приведены технические характеристики EDFA-усилителей производства компании JDSU, применяемых в сетях DWDM, Metro и на длинных сегментах ВОЛС.

Таблица 6.16 - Технические характеристики EDFA-усилителей производства компании JDSU.

Модель	Рабочий диапазон, нм	Коэффициент усиления, Дб	Уровень мощности на выходе, Дбм	Уровень шума, Дб	Минимальная мощность на входе, Дбм	Неравномерность АЧХ, Дб
ОА 400	1530-	24	15	6	-17	-
ОА	1560	25	18	-	-	-

1000						
ОА 3500		5-24	17	-	-	0.75
ОА 4500		19-32	21.5	-	-	-

6.10.3 Применение WDM устройств

Технологии спектрального WDM (Wavelength Division Multiplexing) и плотного спектрального уплотнения и разделения DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) оптических каналов являются сравнительно новыми для построения высокоскоростных магистральных линий и оптических сетей связи. В настоящее время системы WDM/DWDM являются основой для построения полностью оптических транспортных сетей, и для цифровых систем передачи (ЦСП) с временным разделением каналов TDM (Time Division Multiplexing), таких, например, как ЦСП синхронной цифровой иерархии СЦИ/SDH, играют аналогичную роль, что и мультиплексирование с частотным разделением каналов для аналоговых систем передачи.

Использование новых достижений в технологии TDM позволило увеличить пропускную способность волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) до 10 Гбит/с и выше. Скорость передачи в 10 Гбит/с в некотором роде разграничивает ЦСП типа TDM. Выше этой скорости хроматическая и поляризационная модовая дисперсия оптического волокна (ОВ) начинают существенно влиять на качество передачи и должны приниматься во внимание при построении магистральных ВОЛС.

В технологии WDM нет многих ограничений и трудностей, свойственных технологии TDM. Для повышения пропускной способности линии связи вместо увеличения скорости передачи в оптическом канале, как это делается в системах TDM, системы WDM позволяют увеличить число каналов (в данном случае – длин волн), применяемых в системах передачи. При этом в определенных случаях технология TDM позволяет увеличить пропускную способность существующей сети без дорогостоящей замены оптического кабеля.

Технология WDM/DWDM применяется в основном на магистральных линиях связи большой протяженности, т. е. там, где требуется большая полоса пропускания. Сети городского и регионального масштаба, а также системы кабельного телевидения потенциально открывают широкие возможности для применения технологии WDM/DWDM.

Принципы построения систем спектрального уплотнения WDM/DWDM

В системе WDM/DWDM сигналы разных длин волн, генерируемые одним или несколькими оптическими передатчиками, объединяются мультиплексором в многочастотный составной оптический сигнал, который распространяется далее по одномодовому ОВ. При большой протяженности ВОЛС в ней устанавливается один или несколько оптических усилителей (ОУ).

Демультимплексор выделяет из составного оптического сигнала исходные частотные каналы и направляет их на соответствующие фотоприемники.

В курсовом проекте можно ограничиться расчетом ОБ на двух длинах волн $\lambda = 1300_{\text{нм}}$ и $\lambda = 1550_{\text{нм}}$ в основном и стандартном диапазонах.

На промежуточных узлах в линии или сети связи некоторые оптические каналы могут быть добавлены или выделены из составного оптического сигнала посредством оптических мультиплексоров ввода/вывода (OMBB/OADM - Optical Add/Drop Multiplexing) или систем кросс-коммутации (ОСКК/OCCS - Optical Cross - Connect System) оптических каналов.

В системах WDM/DWDM применяют вполне определенные диапазоны длин волн оптического излучения в пределах стандартизованных Международным союзом электросвязи (МСЭ-Т) диапазонов для различных видов стандартных одномодовых волокон (табл.6.5).

Технологии DWDM, в отличие от WDM в которой обычно используются второе и третье окна прозрачности ОБ на длинах волн 1310 нм и 1550 нм (О- и С-диапазоны соответственно) или дополнительно область в окрестности длин волн 1650 нм (U-диапазон), присущи две важные особенности:

- использование только одного окна прозрачности волокна в пределах области длин волн 1530 - 1565 нм (С-диапазон), соответствующей максимальному усилению волоконных ОУ, легированных ионами эрбия;

- малый интервал по длине волны между мультиплексируемыми оптическими каналами, обычно равный 3,2/1,6/0,8 или 0,4 нм.

Именно эти особенности систем DWDM с учетом применения специально разработанных одномодовых ОБ, ОУ, устройств компенсации дисперсии и современных ЦСП СЦИ/SDH обеспечивают максимально высокую полосу пропускания и предельную дальность передачи для систем спектрального уплотнения оптических каналов в высокоскоростных сетях связи.

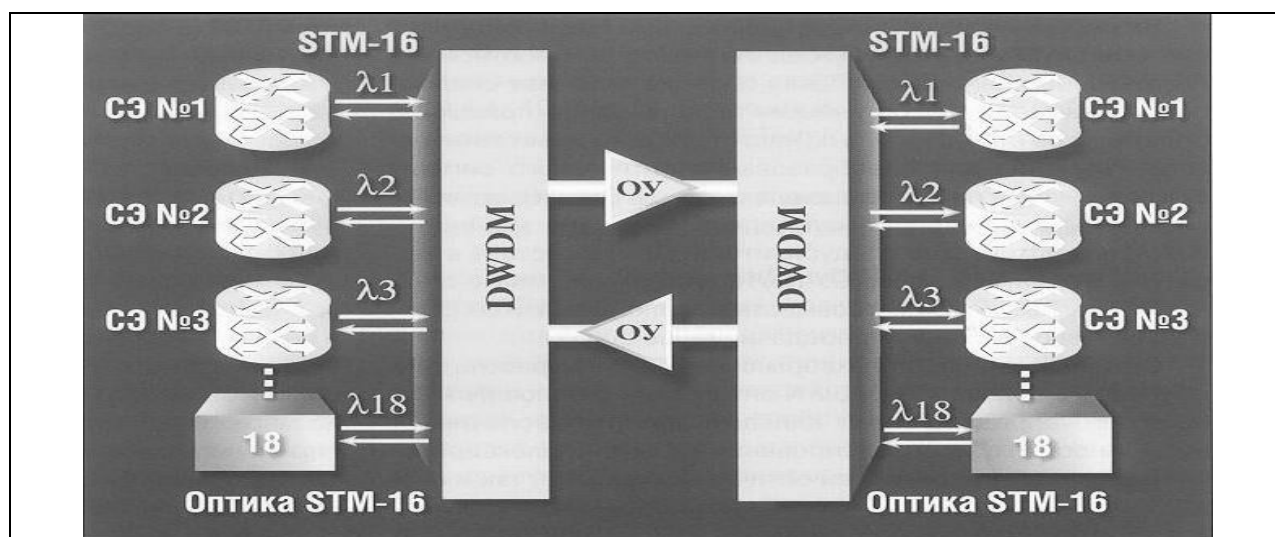
Пропускную способность оптических линий на основе систем WDM/DWDM можно наращивать постепенно, добавляя по мере развития сети новые оптические каналы. Применение волоконных ОУ позволяет создавать полностью оптические сети, в которых обработка сигнала электронными компонентами происходит только в начальной и конечной точках сети. Каждый канал электросвязи, образуемый ЦСП СЦИ/SDH соответствующего уровня иерархии (STM-16/64/256), обрабатывается в системе WDM/DWDM как отдельный канал на отдельной длине волны, благодаря чему большая часть существующего сетевого оборудования сетей СЦИ/SDH может непосредственно включаться в состав систем WDM/DWDM. Это позволяет снизить начальные затраты для установки систем WDM/DWDM в существующую сеть сетей СЦИ/SDH.

Структура систем WDM/DWDM.

В общем случае система WDM/DWDM состоит из нескольких оптических передатчиков, оптического мультиплексора, одного или нескольких ОУ (обычно это ОУ на основе волокна, легированного ионами эрбия – EDFA –

Erbium Doped Fiber Amplifier), аппаратуры ЦСП СЦИ/SDH, волоконной линии связи, оптического демультиплексора и соответствующего числа фотоприемников, а также соответствующего электронного оборудования и системы управления сетью. В системах WDM/DWDM в качестве источников излучения применяют высокостабильные одномодовые полупроводниковые лазеры со сверхузкой спектральной линией генерации и внутренней или внешней модуляцией оптической несущей частоты.

На рисунке 6.13 показана структурная схема транспондерной системы DWDM и ее использование в высокоскоростной магистральной линии связи. Такая система включает следующие основные блоки: оптические трэнспондеры (приемопередатчики со стабильными по частоте источниками оптического излучения для преобразования оптического сигнала ЦСП в сигнал оптического канала системы DWDM), оптические мультиплексоры / демультиплексоры, ОУ мощности (ОУМ) или оптические предусилители (ОПУ) в составе аппаратуры DWDM, линейные ОУ (ОУЛ), устанавливаемые в линии связи. Такая система совместно с волоконными ОУ EDFA обеспечивает дальность передачи свыше 200 км.



СЭ (сетевой элемент) – 1Р-маршрутизатор, ДТМ – коммутатор, мультиплексор ввода-вывода OMBB/ADM СЦИ/SDH

Рисунок 6.13 - Структурная схема применения транспондерных систем DWDM в высокоскоростной магистральной линии связи

Оптические мультиплексоры систем DWDM рассчитаны на работу с большим числом N оптических каналов ($N > 32$) со строго определенными длинами волн и обеспечивают возможность мультиплексирования (демультиплексирования) одновременно как всех оптических каналов, так и ввода/вывода одного или нескольких из общего оптического потока с большим числом каналов.

Классификация систем WDM/DWDM

Основным параметром в системах WDM/DWDM является расстояние между соседними оптическими каналами по длине волны излучения.

Стандартизация разнесения оптических каналов – основа взаимной совместимости оборудования разных производителей систем WDM/DWDM и последующего его тестирования в процессе наладки и эксплуатации.

Системы WDM в настоящее время подразделяют по числу оптических каналов и расстоянию между оптическими каналами по частоте на три типа: обычные системы WDM, системы плотного спектрального мультиплексирования DWDM, системы высокоплотного спектрального мультиплексирования HDWDM (High Dense). До настоящего времени отсутствует стандарт на классификацию систем WDM и нет точных границ раздела между ними, однако можно вслед за компаниями ALCATEL и ECI Telecom провести классификацию систем WDM следующим образом:

системы WDM – системы спектрального уплотнения с разнесением оптических каналов (оптических несущих) по частоте >200 ГГц и числом мультиплексируемых каналов $N > 16$;

системы DWDM – системы плотного спектрального уплотнения с разнесением оптических каналов по частоте $=100$ ГГц и $N < 64$;

системы HDWDM – системы высокоплотного спектрального уплотнения с разнесением оптических каналов по частоте < 50 ГГц и $N > 64$.

В этой классификации число оптических каналов N для каждого класса систем WDM достаточно условно, однако частотный интервал между каналами является существенной характеристикой. Для систем (HDWDM он уже достигает 50 ГГц, а в некоторых экспериментальных системах – 25 ГГц.

Принципы планирования и методы построения систем WDM/DWDM

Планирование и построение оптической сети на основе систем и аппаратуры WDM/DWDM является существенно более сложной задачей по сравнению с планированием сети СЦИ/SDH и требует специального анализа всей совокупности компонентов и систем WDM/DWDM в целом.

Принципы планирования систем спектрального уплотнения WDM/DWDM включают планирование пропускной способности отдельных оптических каналов и общей пропускной способности транспортных магистралей, учет ограничивающих факторов и выбор типа волокна для оптического кабеля, разработку архитектуры и топологии транспортной магистрали.

Таблица 6.17 – Сравнение основных методов построения систем спектрального мультиплексирования

Технология	Максимальное число каналов N	Допустимое расстояние между каналами по частоте, ГГц (длине волны, нм)	Вносимые потери, дБ	Переходное затухание, дБ	Поляризационные потери, дБ	Температурный коэффициент, 0,01 нм/°С
Интегральная оптика (MBP/AWG)	64 – 256 512	100-25 (0,1-1.5) 25	4,4 - 6,4 4- 6,4	-30 - -33 -30	<0.3 Н/д	0.01 0.01
ТОМ (ОБДР)	64 - 262	1000-50 (0,4-10)	2-6	-30 –55	0	Н/д

Предусматриваются следующие основные этапы при планировании систем WDM/DWDM и оптических сетей на их основе:

- задание (определение) пропускной способности отдельных оптических каналов;
- выбор типа волокна для оптического кабеля ВОЛС (или максимальной протяженности ОВ между системами WDM/DWDM для существующих оптических кабелей);
- выбор пропускной способности (числа оптических каналов N) транспортных магистралей системы WDM/DWDM;
- выбор типа ОУ и числа усилительных участков для систем WDM/DWDM;
- планирование архитектуры, топологии и структуры оптической сети;
- выбор типа ЦСП с учетом скорости передачи, структуры и протяженности сети.

Применение стандартного ОВ в оптических сетях на основе систем WDM/DWDM (в тех случаях, когда применяются "старые" оптические кабели) требует обязательного использования устройств компенсации хроматической и поляризационной модовой дисперсии, что приводит к дополнительным капитальным затратам и удорожанию сети. Оптическое волокно со смещенной ненулевой дисперсией, соответствующее Рекомендации G.655 МСЭ-Т, специально оптимизировано для работы с системами WDM/DWDM в С-диапазоне. При этом в таком ОВ коэффициент хроматической дисперсии не превышает 3 - 5 пс/нм*км) (но не равен нулю для предотвращения четырехволнового смешения), а коэффициент поляризационной модовой дисперсии ДПМД < 0,1-0,2 пс/км^{1/2}.

Длина участка линии без промежуточных усилителей для систем DWDM зависит от вводимой оптической мощности, скорости передачи в канале и типа оптического волокна.

В соответствии с Рекомендацией G.692 МСЭ-Т для систем DWDM определено три типа усилительных (безрегенерационных) участков: L – длиной 80 км с затуханием 22 дБ, максимальное количество оптических усилителей до семи; V – длиной 120 км с затуханием 33 дБ, максимальное количество оптических усилителей до четырех; U – длиной 160 км с затуханием 44 дБ, один усилительный участок.

Линейное оборудование оптических сетей сопрягается с транспондерной системой DWDM, работающей на прием и передачу, по стандартным электрическим и чисто оптическим интерфейсам. при этом дальность передачи с использованием волоконных ОУ EDFA превышает 200 км. Применение ОУ EDFA в ВОЛС для систем DWDM с ЦСП СЦИ/SDH уровня STM-16 (2,4 Гбит/с) позволяет увеличить дальность передачи от 200 до 600 км и выше.

7 Расчет надежности ВОЛС

Расчет и обеспечение требуемой надежности ВОЛС является очень объемной и трудоемкой задачей. Как правило, при ее выполнении требуется учесть довольно большое количество факторов, влияющих на функционирование проектируемой линии связи.

Требуемые показатели качества и надежности для местной первичной сети (МПС), внутризонавой первичной сети (ВЗПС) и магистральной первичной сети (СМП) с максимальной протяженностью L_m приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Показатели качества надежности

Показатели надежности для МПС, $L_m \leq 200$ км	Канал ТЧ или ОЦК независимо от применяемой СП	Канал ОЦК на перспективной цифровой сети	Оборудование линейного тракта
Коэффициент готовности	0.997	0.9994	0,9987
Среднее время между отказами, ч	>400	>7000	>2500
Время восстановления, ч	< 1.1	< 4,24	См. примечание
Показатели надежности для ВЗПС, $L_m \leq 1400$ км	Канал ТЧ или ОЦК независимо от применяемой СП	Канал ОЦК на перспективной Цифровой сети	Оборудование линейного тракта
Коэффициент готовности	>0,99	0.998	0,99
Среднее время между отказами, ч	111.4	2050	>350
Время восстановления, ч	< 1,1	< 4,24	См. примечание

Показатели надежности для СПМ, $L_m \leq 12500$ км	Канал ТЧ или ОЦК независимо от применяемой СП	Канал ОЦК на перспективной цифровой сети	Оборудование линейного тракта
Коэффициент готовности	>0.92	>0.982	>0.92
Среднее время между отказами, ч	>12.54	>230	>40
Время восстановления, ч	>1.1	>4.24	См. примечание

Примечание: для оборудования линейных трактов на МПС, ВЗПС и СМП время восстановления необслуживаемого регенерационного пункта (НРП), обслуживаемого регенерационного пункта (ОРП), оконечного пункта (ОкП) и ОК должны быть соответственно меньше:

$V_{НРП} < 2.5$ ч (в том числе время подъезда к месту аварии – 2 ч);

$V_{ОРП} < 0,5$ ч;

$V_{ОК} < 10$ ч (в том числе время подъезда 3,5ч).

По данным статистики среднее число (плотность) отказов ОК из-за внешних повреждений на 100 км кабеля в год $M = 0,34$.

Тогда интенсивность отказов ОК за 1 ч на 1 км трассы ВОЛС определяется как:

$$\Lambda = \frac{M \cdot L_k}{8760 \cdot 100}, \quad (7.1)$$

Коэффициент вынужденного простоя (коэффициент неготовности) K_{II} – это вероятность того, что система не будет работоспособна в произвольно выбранный момент времени. При существующей на эксплуатации стратегии восстановления, начинающегося с момента обнаружения отказа (аварии), коэффициент простоя (неготовности) определяется по формуле:

$$K_{II} = \Lambda \cdot V \cdot (1 + \Lambda \cdot V) = \frac{V}{(T_0 + V)}, \quad (7.2)$$

где T_0 – среднее время между отказами (или среднее время наработки на отказ), ч;

V – время восстановления, ч;

$\Lambda = \frac{1}{T_0}$ – интенсивность отказов, 1/ч.

Коэффициент готовности $K_{Г}$ – это вероятность того, что система будет работоспособна в произвольно выбранный момент времени.

Коэффициент готовности можно рассчитать по следующей формуле:

$$K_{Г} = 1 - K_{II} = \frac{T_0}{(T_0 + V)}. \quad (7.3)$$

Среднее время между отказами сетевых трактов N-го порядка по отношению к среднему времени между отказами канала ОЦК (64 кбит/с) определяется как:

$$T_0(N) = \frac{T_0(\text{ОЦК})}{0.95^N}. \quad (7.4)$$

Для последовательного соединения элементов системы передачи (например, участков магистрали или отдельных видов оборудования), суммарный коэффициент простоя равен:

$$K_n = K_{n1} + K_{n2} + \dots, \quad (7.5)$$

где K_{n1}, K_{n2} – коэффициенты простоя отдельных элементов СП, определяемые в соответствии с выражением (7.2).

Анализ характерных причин неисправностей компонентов ВОСП (деградация зеркал лазерных граней, образование «темных линий» в лазерах, развитие микротрещин ОК, рост затухания при поглощении водорода, рост темного потока в фотоприемнике и др.) показал, что не менее 70 % отказов ВОСП может быть отнесено к постепенным. Проанализировав вышесказанное можно организовать стратегию оптимальной эксплуатации ВОСП, когда суммарный коэффициент простоя будет минимален.

В ходе расчета сначала необходимо вычислить по данным характеристик надежности отдельных компонентов суммарные показатели надежности всего комплекса ВОСП с использованием формул (7.1 – 7.5).

7.1 Требования по надежности для российских волоконно-оптических линий связи

Требования по коэффициенту готовности для российских ВОЛС приведены в :

1. Правила технической эксплуатации первичных сетей взаимоувязанной сети связи РФ. Книга третья: Правила технической эксплуатации линейно-кабельных сооружений междугородных линий передачи // Госкомсвязи России, М., 1998.

2. Руководство по проведению планово-профилактических и аварийно-восстановительных работ на линейно-кабельных сооружениях связи волоконно-оптической линии передач // Минсвязи России, М., 2001.

3. Правила проектирования, строительства и эксплуатации волоконно-оптических линий связи на воздушных линиях электропередачи напряжением 110 кВ и выше // Министерство топлива и энергетики РФ, РАО «ЕЭС России», 1998..

Для основного цифрового канала (ОЦК) протяженностью 13 900 км (без резервирования) заданы следующие показатели надежности по отказам:

- коэффициент готовности – не менее 0,98;
- среднее время между отказами – не менее 255 ч;
- среднее время восстановления – не более 5,2 ч.

Учитывая высокую надежность современной аппаратуры ЦСП, принятое значение коэффициента готовности кабельной линии равно 0,985, а аппаратуры – 0,995.

Для обеспечения заданного коэффициента готовности на подземной кабельной линии должны обеспечиваться следующие показатели:

- среднее время между отказами – не менее 340,5 ч;
- среднее время восстановления – не более 5,2 ч;
- плотность повреждений – не более 0,1823.

Для обеспечения такого же коэффициента готовности (0,985) гипотетического канала связи протяженностью 13 900 км показатели надежности ОК, проложенного по воздушным линиям электропередачи, должны иметь следующие значения:

- среднее время восстановления – не более 10 ч;
- наработка между отказами – не менее 670 ч.

Соответствующие показатели надежности ОКГТ, пересчитанные для линии длиной 100 км, должны быть:

- коэффициент готовности – не менее 0,99989;
- плотность отказов – не более 0,094.

Коэффициенты готовности каналов связи служебных сетей определяются нормативными документами соответствующих организаций. В РАО «ЕЭС России» приняты следующие значения для коэффициентов готовности каналов передачи служебной электроэнергетической информации:

а) для системы передачи сигналов оперативно-диспетчерского контроля и управления текущим режимом, в том числе АСДУ – не менее 0,98;

б) для системы автоматического регулирования частоты, мощности и напряжения – не менее 0,997;

в) для системы противоаварийной автоматики – не менее 0,998;

г) для систем релейной защиты и автоматики ВЛ – не менее 0,998.

Аппаратура ВОЛС-ВЛ должна соответствовать следующим параметрам по надежности:

а) среднее расчетное время наработки на отказ одного комплекта – не менее 20 лет (с возможным использованием резервирования);

б) среднее время восстановления аппаратуры обслуживаемых пунктов заменой неисправного оборудования устройствами из ЗИП – не более 10 мин (на одну неисправность);

в) среднее время восстановления аппаратуры необслуживаемых пунктов заменой неисправного оборудования устройствами из ЗИП – не более 30 мин (на одну неисправность, без учета времени доставки персонала к месту аварии);

г) срок службы аппаратуры, т.е. время от начала эксплуатации аппаратуры до момента невозможности восстановления ее работоспособности путем ремонта основных элементов, должен быть не менее 20 лет.

Перечень нормативно-технической документации приведен в приложении Л.

Пример расчета надежности трассы

Пусть разрабатывается ВОЛС Томск - Мельниково длиной 50км на которой имеется усилитель, разветвитель и мультиплексор.

А) Система PDH. с резервированием

Б) Система SDH с резервированием

Необходимо: 1) Определить время безотказной работы системы

- 2) Определить вероятность безотказной работы в течении
 а) Суток б) Недели в) Месяца г) Года
 3) Определить, надёжна ли будет система? Определить коэффициент простоя

Решение:

Дано: $L_{ок} = 50\text{км}$ длина трассы
 Для РДН $\xi_{ак} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ 1/ч}$ интенсивность отказов активного элемента
 $\xi_{пасс} = 3 \cdot 10^{-8} \text{ 1/ч}$ интенсивность отказов пассивного элемента
 $\xi_{ок} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ 1/ч}$ интенсивность отказов оптического кабеля
 $t_{в ак} = 0.5\text{ч}$ время восстановления активного элемента
 $t_{в пасс} = 4.0\text{ч}$ время восстановления пассивного элемента
 $t_{в ок} = 5.0\text{ч}$ время восстановления оптического кабеля
 в сутках 24ч, в неделе 168ч, в месяце 720ч, в году 8760ч.

Расчёт

- 1) Определить время безотказной работы системы

Для начала рассчитаем интенсивность отказа системы по формуле (6):

$$\Lambda = \xi_{ак} \cdot n_{ак} + \xi_{пасс} \cdot n_{пасс} + \xi_{ок} \cdot n_{ок} = 10^{-7} \cdot 1 + 3 \cdot 10^{-8} \cdot 2 + 5 \cdot 10^{-8} \cdot 50 = 2.66 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

По формуле (3) найдём время безотказной работы системы

$$T_0 = 1/\Lambda = 1/2.66 \cdot 10^{-6} = 375939,84\text{ч} = 42.9 \text{ лет}$$

- 2) Определить вероятность безотказной работы в течении

а) Суток б) Недели в) Месяца г) Года

Для этого используем формулу (5) учитывая что в сутках 24ч, в неделе 168ч, в месяце 720ч, в году 8760ч.:

- а) $Q = \exp(-\Lambda \cdot t) = \exp(-2.66 \cdot 10^{-6} \cdot 24) = 0.999936$
 б) $Q = \exp(-\Lambda \cdot t) = \exp(-2.66 \cdot 10^{-6} \cdot 168) = 0.999533$
 в) $Q = \exp(-\Lambda \cdot t) = \exp(-2.66 \cdot 10^{-6} \cdot 720) = 0.998087$
 г) $Q = \exp(-\Lambda \cdot t) = \exp(-2.66 \cdot 10^{-6} \cdot 8760) = 0.976968$

3) Для того что бы определить будет ли система надёжна, необходимо рассчитать коэффициент готовности по формуле (1).

Предварительно найдём время восстановления системы по формуле

$$T_{в} = (t_{в ак} \cdot \xi_{ак} \cdot n_{ак} + t_{в пасс} \cdot \xi_{пасс} \cdot n_{пасс} + t_{в ок} \cdot \xi_{ок} \cdot n_{ок}) / (\xi_{ак} \cdot n_{ак} + \xi_{пасс} \cdot n_{пасс} + \xi_{ок} \cdot n_{ок}) =$$

$$= (0.5 \cdot 10^{-7} \cdot 1 + 4.0 \cdot 3 \cdot 10^{-8} \cdot 2 + 5 \cdot 5 \cdot 10^{-8} \cdot 50) / (10^{-7} \cdot 1 + 3 \cdot 10^{-8} \cdot 2 + 5 \cdot 10^{-8} \cdot 50) = 4.8\text{ч}$$

Тогда $K_{г} = 375939.84 / (375939.84 + 4.8) = 0.9999987$ а коэффициент простоя рассчитаем по формуле (3): $K_{п} = 1 - K_{г} = 1 - 0.996 = 0.004 = 0.4\%$

Как известно для данного типа ВОЛС адекватный коэффициент готовности будет равен 0.996 Вывод: данная система будет работоспособна.

8 Экономический расчет ВОЛС

В начальной стадии экономической части составляется спецификация на оборудование, устанавливаемое на магистрали.

При этом учитываются:

- наценки на транспортные расходы;

- заготовительно-складные расходы;

После составления спецификации на оборудование, подготавливается смета на строительство магистрали. В нее входят:

- монтажные работы;
- стоимость материалов, устанавливаемая фирмой-изготовителем;
- прочие расходы и затраты;

Определив стоимость оборудования по специализации со стоимостью работ по сооружению кабельной линии по ориентированным данным измерений подсчитывается стоимость одного канала/километра связи, которая рассчитывается по формуле:

$$C_{1kk} = \frac{C}{N \cdot L} \text{ у.е./км,} \quad (8.1)$$

где C_{1kk} – стоимость одного канала/километра связи

N – число каналов (для уровня STM-4 (или любого другого модуля STM))

L – протяженность магистрали

C – стоимость оборудования и работ по смете.

8.1 Прокладка в грунт

В данном виде работ учитывается наличие имеющихся подземных сооружений (других кабелей связи, силовых кабелей, трубопроводов и т.д.) и наземных препятствий (шоссейные и железные дороги, реки, болота, леса, овраги, пересечения с линиями электропередачи и др.). Данный учет связан со стоимостью работ на проектные изыскания трассы. Так же определяются места размещения необслуживаемых регенерационных пунктов, пунктов доступа к ОК, оптических муфт и т.д.

Итак, необходимо учесть затраты на строительство, связанное с входным контролем ОК, заработной платой, затратами на материалы и оборудование, комплектующие изделия, транспортными расходами (наличие пропорщика, доставка рабочих, необходимого материала и пр.), затраты по работам, выполненным сторонними организациями и предприятиями, общестроительными работами, непредвиденными расходами.

В таблице 8.1 указывается стоимость работ и оборудования по смете в у.е (united states dollar). Сумма в рублях рассчитывается по курсу Центробанка России на момент составления сметы. По ходу расчета каждого пункта суммарная стоимость на затраты записывается в таблицу 8.1 и как итог, подсчитываются общие затраты на прокладку ВОЛП.

Таблица 8.1 – Пример сметы на строительство проектируемой ВОСП на 100 км трассы

№ п/п	Наименование статей расходов	Сумма, USD.
1	Заработная плата	6460
2	Затраты по работам, выполненным сторонними организациями и предприятиями (либо своими высококвалифицированными рабочими)	85000
3	Материалы и оборудование, комплектующие изделия	461007
4	Прочие расходы	150000

Итого:	703000
---------------	---------------

8.1.1 Заработная плата

Заработная плата рассчитывается в зависимости от количества рабочих, ответственных исполнителей, руководителей и прочих рабочих мест.

Время на прокладку в грунт рассчитывается из соответствия: 2 ± 1 км в день на одну бригаду, в зависимости от состояния грунта, времени года, количества человек.

Бригада формируется обычно из соотношения: одна бригада на 50-100 км трассы и расставляются через каждые 25-50 км. Среднее количество человек в бригаде принять равным 4.

Руководитель проекта – один человек.

Ответственный исполнитель – один человек на 300 км трассы

З/п на период выполнения проекта рассчитывается по формуле:

$(\text{кол-во человек}) \cdot (\text{з/п при } 100\% \text{ занятости по проекту}) \cdot (\text{время работы [мес.]})$

Таблица 8.2 – Пример статьи «Заработная плата» в расчете на 100 км трассы

Кол-во Челове к	Должность (руководитель, исполнитель и т. д.)	з/п при 100% занятости по проекту (USD./мес.)	Время работы (мес.)	З/п на период выполнения проекта (USD.)
1	Руководитель (1 чел)	1600	1	1600
1	Ответственный исполнитель (1чел)	780	1	780
8	Рабочие (2 бригады)	510	1	4080
Итого:				6460

8.1.2 Затраты на работы сторонних организаций

В данном пункте учитываются затраты на проведение работ организацией исполнителем, включающие в себя работу по сдаче трассы в эксплуатацию и проверке ее на проф. пригодность (удовлетворение необходимым параметрам: качество связи, пропускная способность, соблюдение норм и техники безопасности), а так же затраты на монтаж соединений (сварка, монтаж муфт, установка оптических ответвителей от главной трассы и пр.). Принять примерно равной 85000 \$ на 100 км трассы

Таблица 8.3 – Пример статьи «Затраты по работам сторонних организаций» на 100 км трассы

Название работ, выполняемых сторонней организацией (либо своими высококвалифицированными рабочими)	Организация - исполнитель	Сумма, USD.

Монтаж соединений, измерения в процессе строительства и сдачи в эксплуатацию.	ООО «Связь-Сервис»	85000
Итого:		85000

8.1.3 Материалы, оборудование, комплектующие изделия

В таблице 8.4 указана примерная стоимость (в расчете на единицу длины) материалов для прокладки ОК в грунт. Студент сам выбирает *тип ОК*. Стоимость *монтажа ОК* будет варьироваться в зависимости от организации исполнителя.

Количество материалов в данной таблице указано из расчета на длину трассы в 100 км.

Кабельный барабан выбирается из расчета: один барабан на 25 км трассы.

Муфта разветвительная – одна муфта на один элементарный кабельный участок трассы (один ЭКУ – 2, 4 или 6 км). В данном случае один ЭКУ – 4 км.

Слайс-кассета – одна кассета на одну муфту

Прецизионный скалыватель – один скалыватель выдается один на одну бригаду. В данном примере (табл. 8.4), на 100 км трассы у нас 2 бригады. Следовательно необходимо 2 скалывателя.

Сварочный аппарат и рефлектометр берется один на одну трассу (достаточно дорогое оборудование для покупки его в больших количествах).

Измеритель мощности, комплект инструментов для разделки и монтажа ВОЛС – один на одну бригаду.

Шкаф монтажный напольный, сервер (рабочая станция) – один на 300 км трассы, с учетом того что на конечных станциях трассы так же необходимо по одному шкафу и серверу.

Оптический ответвитель – количество зависит от пунктов, необходимых для отвода в них оптической мощности. Принять необходимость одного ответвителя на 200 км трассы.

Коннектор – их количество вдвое больше количества регенераторов на трассе.

Количество регенераторов – рассчитывается из отношения длины трассы к количеству регенерационных участков. (Студент рассчитывает длину регенерационного участка. Примерная длина изменяется в пределах 60 – 115 км)

Передающий и приемный оптический модуль – один на трассу (регенератор в свою очередь уже включает в себя наличие этих модулей для восстановления и последующей передачи сигнала).

ПК (для управления сервером), программное обеспечение – зависит от количества серверов в соотношении 1:1.

ИБП – один источник бесперебойного питания на один регенератор, плюс по источнику на каждый конечный пункт.

Кабель UTP 4 пары кат. 6 – длина на один оконечный пункт принимается равной 300м.

Таблица 8.4 – Пример статьи «Материалы, оборудование, комплектующие изделия» в расчете на 100 км трассы

Наименование оборудования	Единицы измерения	Количество	Стоимость, USD	
			Единицы	Общая
Кабель оптический для прокладки в грунт бронированный стальной проволокой ИКП...	километр	100	1600	160000
Монтаж ВОК	километр	100	2000	200000
Барaban кабельный	шт.	4	210	840
Муфта разветвительная	шт.	25	130	
Сплайс-кассета универсальная на X ОВ (X – количество оптических волокон)	шт.	25	5	125
Прецизионный скалыватель для оптических волокон	шт.	2	1010	2020
Сварочный аппарат магистральных линий связи	шт.	1	11700	11700
Рефлектометр	шт.	1	18600	18600
Измеритель мощности	шт.	2	2060	4120
Комплект инструментов для разделки и монтажа ВОЛС	шт.	2	1200	2400
Шкаф монтажный напольный	шт.	2	750	1500
Ответвитель оптический	шт.	1	80	80
Коннектор (указывается тип коннектора)	шт.	2	6	12
Регенератор	шт.	1	1900	1900
ПОМ	шт.	1	880	880
ПРОМ	шт.	1	610	610
Сервер (тип рабочей станции)	штука	2	23300	46600
ПК (для управления сервером)	комплект	2	1000	2000
Программное обеспечение	пакет	2	3300	6600
ИБП	комплект	3	200	600
Кабель UTP 4 пары кат. 6	300 метров	2	0,7	420
Итого:				461000

8.1.4 Прочие расходы

При учете иных расходов учитывается входной контроль и проектные изыскания. Стоимость контроля и изысканий взять из таблицы 8.5 (здесь указана примерная стоимость контроля и изысканий в расчете на 100 км трассы).

Транспортные расходы, наценки на содержание, заготовительно-складские расходы, а так же накладные расходы рассчитываются *в процентном соотношении от суммарной стоимости материалов, оборудования и комплектующих изделий (табл. 8.4).*

Студент сам выбирает фирму для обеспечения входного контроля и проектных изысканий, в связи с чем цена на данные пункты варьируется.

Таблица 8.5 – Пример статьи «Прочие расходы» в расчете на 100 км трассы

Наименование оборудования	Единицы изменения	Количество	Стоимость, USD	
			Единицы	Общая
Входной контроль		1	6000	6000
Проектные изыскания		1	83000	83000
Транспортные расходы	%	4	4610	18440
Наценки на содержание	%	1	4610	4610
Заготовительно-складские расходы	%	1,2	4610	5540
Накладные расходы	%	7	4610	32300
Итого:				150000

8.1.5 Стоимость каналоклометра

Данный расход рассчитывается из соотношения общей стоимости материалов и оборудования (табл. 8.4) к количеству каналов и длине трассы (примерный расчет произведен для суммарной стоимости проекта в 703 000 \$, количество каналов 6100, длина трассы 100 км). Количество каналов рассчитывается студентом, длина трассы берется из задания.

Примерный расчет стоимости каналоклометра линейных сооружений:

$$\Sigma = \frac{P}{n \cdot L_k} = \frac{703000}{6100 \cdot 100} = 1.15\$$$

где:

P - суммарные затраты (USD);

n - общее число каналов

L_k - длина трассы (км)

8.2 Прокладка ОК через водную преграду

Этим методом с высокой точностью выполняются скрытые переходы на глубине до 30 м и длиной до 1 км. Установка горизонтально-наклонного

бурения по заданной траектории бурит предварительную (пилотную) скважину, с большой точностью выходящую в заданную точку на другой стороне препятствия. Затем за один или несколько этапов расширяют скважину до требуемого диаметра. В скважину с помощью бурового раствора, формирующего канал и выполняющего роль смазки, затягивают отдельные трубы или пучки труб, используемые в качестве труб кабельной канализации на участке перехода.

8.2.1 Смета на строительство

Важно!

Оформление сметы на строительство составляется в соответствии с таблицей 8.1.

При прокладке через водную преграду зарплата персоналу увеличивается в 2-10 раз!

Коэффициент умножения при расчете заработной платы (табл. 8.6) в зависимости от типа перехода водной преграды варьируется от 2 до 10. **В данной работе коэффициент умножения принять равным 2,5** (от первоначальной зарплаты – таблица 8.2).

Время на прокладку через водную преграду рассчитывается из соответствия: 2 ± 1 км в день на одну бригаду, в зависимости от состояния подводного грунта, времени года, количества человек, погодных условий.

Бригада формируется обычно из соотношения: две бригады на один водный переход. Среднее количество человек в бригаде **принять равным 5**.

Руководитель проекта – один человек.

Ответственный исполнитель – один человек на один переход, далее на 200 км трассы.

З/п на период выполнения проекта рассчитывается по формуле:

(кол-во человек) · (з/п при 100% занятости по проекту) · (время работы [мес.]

Таблица 8.6 – Пример статьи «Заработная плата» в расчете на 100 км трассы

Кол-во	Должность (руководитель, исполнитель и т. д.)	з/п при 100% занятости по проекту (USD./мес.)	Время работы (мес.)	З/п на период выполнения проекта (USD.)
1	Руководитель (1 чел)	1600	1	4000
1	Ответственный исполнитель (1 чел)	780	1	1950
10	Рабочий (2 бригады)	1275	1	12750
Итого:				18700

8.2.2 Затраты на работы сторонних организаций

Взять данные из «*пункт 8.1.2*». Коэффициент умножения при расчете стоимости затрат на работу сторонних организаций (таблица 8.3) *принять равным 2*.

8.2.3 Материалы, оборудование, комплектующие

ОМЗКГМ... кабель для прокладки через водные преграды. Кабели в броне из круглых стальных оцинкованных проволок и защитном шланге из полиэтилена.

Тип используемого кабеля выбирается студентом в зависимости от требуемой пропускной способности сети. Остальные данные берутся в зависимости от длины волоконно-оптической линии передачи.

В таблице 8.7 указана примерная стоимость ОК для перехода через водоемы.

Таблица 8.7 – Пример статьи «Материалы, оборудование, комплектующие изделия» в расчете на 100 км трассы

Наименование оборудования	Единицы измерения	Количество	Стоимость, USD	
			Единицы	Общая
Кабель оптический бронированный стальной проволокой ОМЗКГМ... (переход через водоемы, реки)	километр	100	1800	180000
Итого: (+ данные таблицы 8.4 без учета кабеля ИКП...)				481000

8.2.4 Прочие расходы

В таблице 8.8 *указана примерная стоимость на входной контроль и проектные изыскания при проходе через водные преграды*. Студент в свою очередь сам выбирает фирму для проведения изысканий и учета контроля. Исходя из расценок выбранной фирмы указывается соответствующая стоимость первых двух пунктов (таблица 8.8)

В таблице 8.8 *указаны, соответствующие прохождению через водные преграды, процентные соотношения* для транспортных расходов, наценок на содержание и пр. в зависимости от суммарных затрат, посчитанных в таблице 8.7

Таблица 8.8 – Пример статьи «Прочие расходы» в расчете на 100 км трассы

Наименование оборудования	Единицы измерения	Количество	Стоимость, USD	
			Единицы	Общая
Входной контроль		1	12000	12000
Проектные изыскания		1	166000	166000

Транспортные расходы	%	6	4810	28900
Наценки на содержание	%	2	4810	9650
Заготовительно-складские расходы	%	1,7	4810	8200
Накладные расходы	%	10	4810	48100
Итого:				273000

Далее проводятся подсчеты общей стоимости прокладки ВОЛП через водную преграду и заносятся в таблицу 8.1

8.2.5 Расчет стоимости каналокилометра

Данные берутся из «*пункта 8.1.5*», где Р – общая стоимость данного проекта.

8.3 Подвеска ОК на опорах линий связи

В целом используются два основных метода подвески ОК: подвеска самонесущих ОК и подвеска ОК без несущих силовых элементов, с креплением их к существующим несущим элементам (тросам, проводам и др.).

Переходы ОК с одной стороны ж.д. на другую выполняются либо подземным способом с использованием кабельного канала из неметаллических труб, либо по воздуху с подвеской ОК на дополнительно установленных опорах. Расстояние перехода от фундамента ближайшей опоры контактной сети должно составлять не менее 10 м, а угол пересечения переходом железной дороги должен быть близок к 90°.

Оформление сметы на строительство составляет в соответствии с таблицей 8.1.

8.3.1 Заработная плата

При расчете заработной платы, **принять коэффициент умножения равным 0,8** (от первоначальной зарплаты – таблица 8.2).

Время на подвеску ВОЛС на опорах линий связи рассчитывается из соответствия: 3 ± 1 км в день на одну бригаду, в зависимости от времени года, количества человек, погодных условий.

Бригада формируется из соотношения: две бригады на 50-100 км трассы и расставляются через каждые 25-50 км. Среднее **количество человек в бригаде принять равным 3** (две бригады работают совместно, по одной бригаде на одну опору для ЛЭП).

Руководитель проекта – один человек.

Ответственный исполнитель – один человек на 200 км трассы.

З/п на период выполнения проекта рассчитывается по формуле:

$$(\text{кол-во человек}) \cdot (\text{з/п при 100\% занятости по проекту}) \cdot (\text{время работы [мес.]})$$

Таблица 8.9 – Пример статьи «Заработная плата» в расчете на 100 км трассы

Кол-во	Должность (руководитель, исполнитель и т. д.)	з/п при 100% занятости по проекту (USD./мес.)	Время работы (мес.)	З/п на период выполнения проекта (USD.)
1	Руководитель (1 чел)	1280	1	1280
1	Ответственный исполнитель (1 чел)	624	1	624
12	Рабочие (4 бригады)	408	1	4900
Итого:				6800

8.3.2 Затраты на работы сторонних организаций

Данные берутся из «пункта 8.1.2» для таблицы 8.3 с коэффициентом умножения 0,75.

8.3.3 Материалы, оборудование, комплектующие

Тип используемого кабеля для подвески на опорах линий связи выбирается студентом в зависимости от требуемой пропускной способности сети. Остальные данные берутся в зависимости от длины волоконно-оптической линии передачи.

В таблице указана примерная стоимость ОК для подвески на опорах ЛС.

Таблица 8.10 – Пример статьи «Материалы, оборудование, комплектующие изделия» в расчете на 100 км трассы

Наименование оборудования	Единицы изменени я	Количество	Стоимость, USD	
			Единицы	Общая
Кабель для подвески на опорах линий связи ИК/Т...	километр	100	1700	170000
Итого: (+ данные таблицы 8.4 без учета кабеля ИКП...)				471000

8.3.4 Прочие расходы

В таблице 8.11 указана примерная стоимость на входной контроль и проектные изыскания при подвеске ОК на опорах линий связи. Студент в свою очередь сам выбирает фирму для проведения изысканий и учета контроля. Исходя из расценок выбранной фирмы указывается соответствующая стоимость первых двух пунктов (таблица 8.11)

В таблице 8.11 указаны, соответствующие подвеске на опорах ЛС, процентные соотношения для транспортных расходов, наценок на содержание и пр. в зависимости от суммарных затрат, посчитанных в таблице 8.10. А так же

примерная стоимость входного контроля и проектных изысканий на 100 км трассы

Таблица 8.11 – Пример статьи «Прочие расходы» в расчете на 100 км трассы

Наименование оборудования	Единицы измерения	Количество	Стоимость, USD	
			Единицы	Общая
Входной контроль		1	5000	5000
Проектные изыскания		1	70000	70000
Транспортные расходы	%	3	4710	14130
Наценки на содержание	%	0,9	4710	4240
Заготовительно-складские расходы	%	1	4710	4710
Накладные расходы	%	6	4710	28300
Итого:				126400

Далее проводятся подсчеты общей стоимости прокладки ВОЛП при подвеске на опорах ЛЭП и заносятся в таблицу 8.1

8.3.5 Расчет стоимости каналокilометра

Расчет проводится в соответствии с «пунктом 8.1.5», где Р – общая стоимость данного проекта

Вывод:

Исходя из полученных данных возможно определиться с наиболее оптимальным способом прокладки ВОЛП. Стоимость прокладки с наименьшей ценой каналокilометра дает возможность определить экономический исход прокладки ВОЛП.

Сравнение средней стоимости строительства 1-го км. кабеля емкостью от 8-ми до 24 волокон приведено в приложении И.

9 Основные измерения в ОВ

Измерения в ВОЛС можно разделить на две группы:

1. Измерения в процессе строительства

- входной контроль;
- оценка качества строительных работ с целью доведения параметров до установленных нормативов;
- приемно-сдаточные испытания.

2. Измерения в процессе эксплуатации

- профилактические измерения;
- аварийные измерения;
- входной контроль;
- контрольные измерения после аварийно-восстановительных работ

- непрерывный мониторинг с помощью встроенного в ВОСП контрольно-измерительного оборудования.

Входной контроль производится перед проведением строительных и ремонтных работ, связанных с заменой кабеля и прочих компонентов ВОЛС. В ходе этих измерений контролируется качество строительных длин кабеля и других компонентов. При входном контроле измеряют вносимое затухание и по известной строительной длине по нему рассчитывают коэффициент затухания, измеряют потери в контрольных сварках различных строительных длин между собой и для паспортизации регистрируют рефлектограммы всех ВС строительной длины.

Оценка качества строительных работ включает измерение вносимого затухания всех ВС на смонтированных участках, потерь во всех неразъемных соединениях.

Приемно-сдаточные испытания, профилактические и контрольные измерения после аварийно-восстановительных работ включают измерение вносимого затухания всех ВС кабельного участка, потерь в стыках, коэффициентов затухания на разных участках, а также паспортизацию кабельного участка по результатам измерений и его рефлектограмме.

Аварийные измерения проводятся для определения характера повреждения и расстояния до него.

9.1 Измерение абсолютной оптической мощности

Для измерения оптической мощности можно использовать следующие приборы:

9.1.1 EXFO FPM-300

Особенности прибора: - автоматическое распознавание длины волны,

- автоматическое обнуление
- обнаружение тонального сигнала.

Измерители мощности FPM-300 применяются совместно с источниками излучения и позволяют определить уровень оптического сигнала в кабеле. Измерители предлагаются в двух модификациях — универсальный SM/MM и высокой мощности. *Цена: 20750 р / 29130 р*

9.1.2 JONWIT 3208 C

Измеритель оптической мощности JW 3208 C обладает легким противоударным корпусом, современным дизайном, многофункциональным LCD-дисплеем.

9.1.3 Greenlee 560XL

Предназначен для измерения оптической мощности или тестирования вносимых потерь а одномодовом и многомодовом оптическом кабеле (совместно с лазерным или светодиодным источником излучения).

Особенности прибора:

- Сохранение и перезапись измерений;
- Функция сбережения заряда батареи (выбирается пользователем);

- Влагостойкое и ударопрочное исполнение.

Цена: 19070 р

9.2 Измерение затухания

9.3 Оптический рефлектометр

Принцип работы - измерение мощности светового излучения, рассеянного или отраженного различными участками волоконно-оптической линии связи при распространении вдоль нее короткого зондирующего светового импульса.

Отражение – локальное явление (соединение волокон разного типа, наличие изломов, трещин и других, крупных по сравнению с длиной световой волны, но малых по сравнению с длительностью светового импульса неоднородностей показателя преломления).

Рассеяние – распределенное явление (происходит на мелких неоднородностях, которые хаотически, но примерно равномерно распределены вдоль всего волокна).

Если коэффициент рассеяния света в некоторой области волокна известен, то рефлектометр позволяет определить мощность зондирующего сигнала в этой области. Если коэффициент обратного рассеяния не известен, но одинаков в определенных участках ВОЛС, то рефлектометр позволяет определить отношение мощностей сигнала на этих участках и, таким образом, затухание между этими участками.

Рэлеевское рассеяние в ОВ.

Часть излучения, попадающая в числовую апертуру, распространяется назад вдоль волокна без расходимости

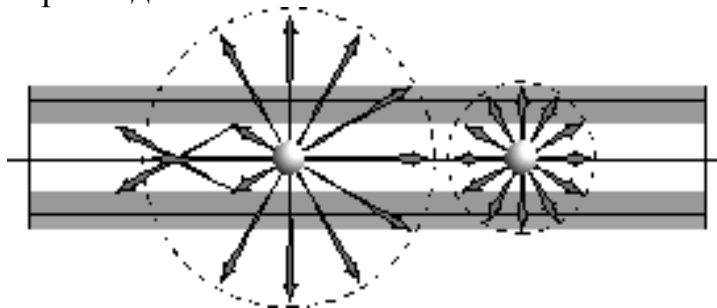


Рисунок 9.1 - Рэлеевское рассеяние в ОВ

- Рассеивающие центры распределены равномерно вдоль волокна => рассеянное разными центрами излучение возвращается к входному торцу волокна в разное время (с разной задержкой).
- Поэтому, даже короткий зондирующий импульс формирует непрерывный убывающий по мощности сигнал обратного рассеяния.

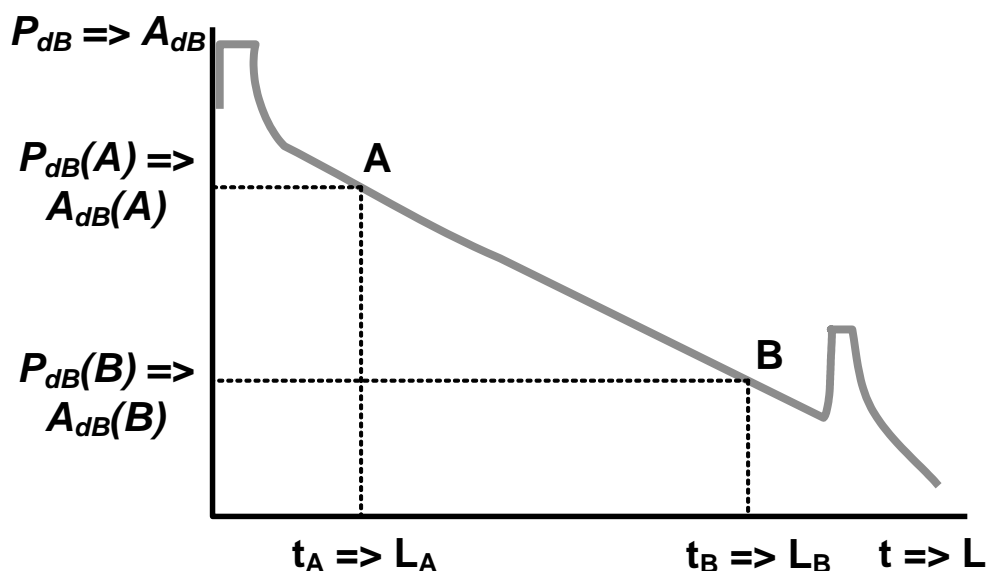


Рисунок 9.2 – Рефлектограмма

Мощность сигнала обратного рассеяния уменьшается во времени по двум причинам:

- Уменьшается мощность (энергия) зондирующего сигнала
- Рассеянное излучение ослабляется во столько же раз при распространении вдоль волокна в обратном направлении.

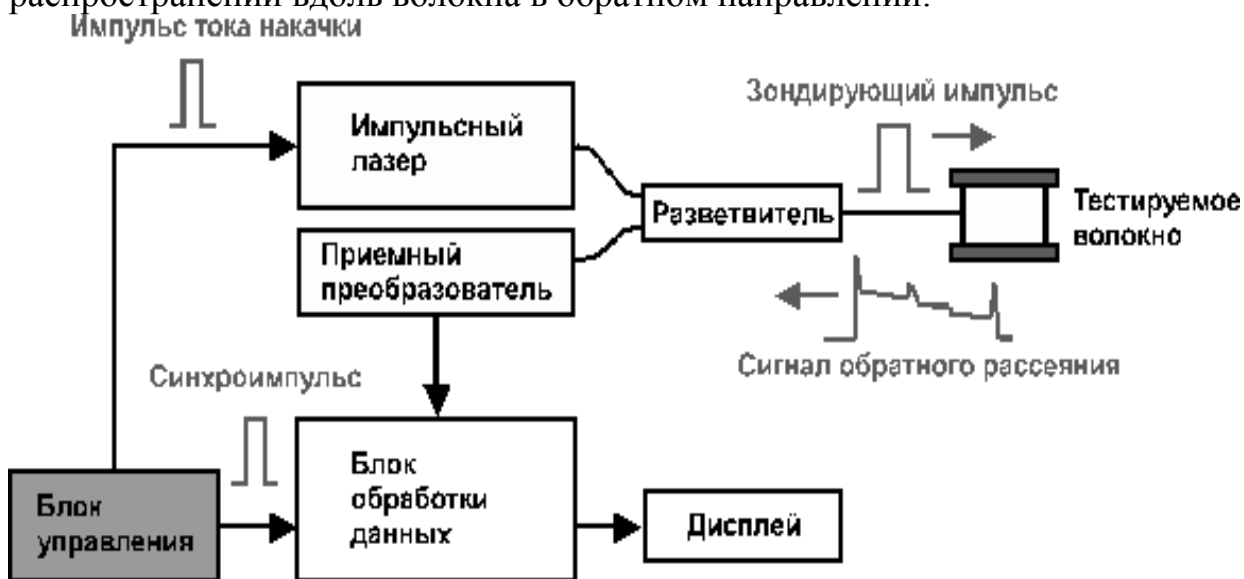


Рисунок 9.3- Структурная схема

- Лазерные световые импульсы вводятся в тестируемое волокно через ответвитель.
- Приемник измеряет временную зависимость мощности принятого отраженного сигнала.
- Измерительный преобразователь преобразует оптические сигналы в пропорциональные электрические.
- В блоке обработки (АЦП и электронная обработка) происходит обработка электрического сигнала от измерительного преобразователя и строится

рефлектограмма, поступающая на дисплей. В этом же блоке осуществляются все виды автоматической обработки рефлектограмм и автоматических измерений.

Требования к компонентам

- Лазер. Малая длительность импульса, относительно высокая мощность.

- Приемный преобразователь. Высокая чувствительность, линейность, малый уровень шумов и широкая полоса частот).

- Блок обработки данных. Основной компонент - схема измерения временных задержек. Поскольку расстояние до тестируемого участка ВОЛС определяется путем пересчета измеренной временной задержки соответствующего этому участку рассеянного или отраженного сигнала, то для получения высокой пространственной точности измерений необходимо обеспечить высокую точность измерения временных задержек.

Для получения правильного значения расстояния при измерениях рефлектометром важно установить точное значение показателя преломления, т.к. расстояние равно произведению скорости света на групповую скорость, обратно пропорциональную величине показателя преломления волокна.

Для уменьшения уровня шума и следовательно расширения динамического диапазона при сохранении пространственного разрешения в блоке цифровой обработки осуществляется накопление данных от большого числа отраженных сигналов (уровень шума уменьшается пропорционально корню квадратному из числа сигналов).

Динамический диапазон оптического рефлектометра

- Динамический диапазон - разность между уровнем мощности PS_0 обратного рассеяния в самом начале волокна и уровнем шумов $PNOISE$ при заданном времени измерений в соответствии с формулой: $DDB = 10\log_{10}PS_0 - 10\log_{10}PNOISE$
- Динамический диапазон выражается в дБ и позволяет оценить максимальную длину тестируемого участка ВОЛС по формуле: $L = DDB / \alpha_{dB}$
- Динамический диапазон является важной характеристикой рефлектометра, определяет диапазон измерения (дБ) и требуемое время измерения – усреднения шумов.
-

Мертвые зоны рефлектометра

- Мертвые зоны рефлектометра это участки вблизи отражающих элементов, в которых затруднены измерения. Различают зоны затухания и отражения.
- Отражения определяется расстоянием между началом отражения и точкой на спаде пика отражения с уровнем - 1.5 дБ относительно вершины.
- Затухания определяется расстоянием от начала отражения до точки, в которой уровень сигнала фотоприемника отличается не более чем на 0.5 дБ от уровня обратного рассеяния.

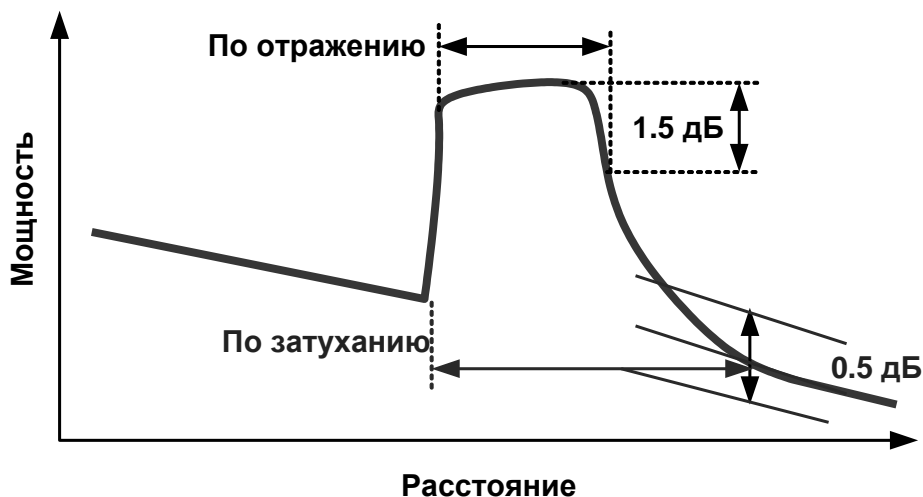


Рисунок 9.4 – Вид отраженного сигнала

Пространственная разрешающая способность

- Определяется как минимальное расстояние, на котором рефлектометр позволяет обнаружить и аккуратно измерить поглощающее событие (например, сварное соединение) после предыдущего.
- Для оценки величины разрешающей способности одиночного отражающего события можно использовать приближенное

$$\Delta l = \frac{c}{2n} \sqrt{(\Delta t)^2 + (1/\Delta f)^2}$$

выражение:

•

Основные характеристики рефлектометра

Точность измерения расстояния

- Точность определения расстояния характеризуется величиной абсолютной и относительной погрешности измерения расстояния.
- Абсолютная ошибка Δm определения длины волокна равна произведению относительной ошибки dm масштабирования на длину L : $\Delta m = dm L$
- Основной вклад в величину относительной ошибки масштабирования дают ошибка в определении показателя преломления и нестабильность тактовой частоты (внутренних часов).
- Другими источниками ошибок являются ошибки дискретизации (определяются скоростью работы аналого-цифрового преобразователя, задающей период между двумя последовательными отсчетами) и ошибки локализации (обусловлена неточностью определения положения события из-за наличия шумов в точке измерения и тесно связана с пространственной разрешающей способностью рефлектометра.).

Точность измерения затухания

- Затухание рассчитывается рефлектометром косвенно, по величине сигнала обратного рассеяния.
- Изменение коэффициента обратного рассеяния может приводить к ошибкам измерений, не связанным с техническими характеристиками рефлектометра.
- Ошибки измерений затухания определяются ошибками измерения мощности сигнала обратного рассеяния. Ошибки измерений возникают из-за наличия шумов преобразователя и случайных ошибок измерителя, а также из-за нелинейности характеристик фотоприемника, предусилителя и амперметра (вольтметра) измерительного комплекса.
- В рефлектометрах ошибку измерений затухания характеризуют линейностью рефлектометра LN [дБ/дБ], равной отношению модуля отклонения $\Delta A_{дБм}$ измеренного значения от действительного $A_{дБм}$ в дБ к действительному значению затухания в дБ. $\Delta l = \Delta A_{дБм} / A_{дБм}$

10 От учебного проектирования к реальным проектам

(Пожелание или руководство к действию)

Бурное развитие телекоммуникаций в настоящее время серьезно затрагивает такую сферу деятельности в отрасли, как разработка проектов и проведение проектно-изыскательских работ, без которых не обходится ни одно строительство или реконструкция телекоммуникационных сооружений.

Коренное отличие современного процесса проектирования состоит прежде всего в жесткой координации проектно-изыскательских работ со всеми вопросами, определяющими основную цель выпуска проектной продукции - строительство объекта, сдача его в эксплуатацию и использование в операторской деятельности.

В современных рыночных условиях заказчик крайне заинтересован в максимально быстрой отдаче от тех средств, которые он вкладывает в проектирование и строительство объекта. Вследствие этого до минимума сокращается время между сдачей проектной документации заказчику и началом строительства.

Стремительно меняющийся рынок производителей оборудования и материалов, постоянное совершенствование технологий в средствах связи при существующей нормативно-технической базе, резко усилившаяся конкуренция между проектными организациями накладывает дополнительную ответственность на проектировщиков, руководителей и менеджеров проектных организаций и ставит перед ними все более сложные задачи.

Все эти факторы и формируют требования к современному проектированию, основными из которых, являются:

- максимально сжатые сроки разработки документации;

- необходимость применения новейших технологий и технических разработок с использованием существующей нормативной базы;
- четкая координация всех действий проектировщиков с заказчиком в процессе выполнения проектно-изыскательских работ;
- максимально высокая скорость принятия решений, гибкое реагирование в быстро меняющихся условиях;
- оперативное взаимодействие проектной организации и заказчика с другими заинтересованными организациями, контрольными и экспертными органами;
- повышенные требования к качеству принимаемых проектных решений и проектно-сметной документации;
- тщательное изучение современного рынка телекоммуникаций, активная маркетинговая деятельность;
- возможность предоставления заказчику, помимо проектирования, многих других видов услуг: проведения экспертиз, консультационных услуг, поставок оборудования, строительно-монтажных работ.

Конкурентоспособность проектной организации на рынке обеспечивается соотношением четырех основных факторов:

Сроки – цена – качество – комплексность предоставляемых услуг.

При этом немаловажным фактором является четкая координация работы проектной организации с заказчиком в целях оперативного взаимного решения всех возникающих в процессе проектирования вопросов.

В настоящее время лучше строить работу имея технологические отделы, построенные на основании тематики и основных направлений проектирования: отдел транспортных сетей (системы передачи, линейные сооружения, радиорелейные линии), отдел станционных сооружений (АТС, системы коммутации), отдел системной интеграции (мобильные сети, поставка, оборудования, строительно-монтажные работы) и т.д.

На каждый конкретный объект назначается управляющий проектом, из числа ведущих специалистов. Как показывает опыт, подобная организация работы, концентрирующая все основные нити управления проектированием в одних руках, способствует значительному повышению эффективности работы.

Процесс проектирования естественно полностью компьютеризирован. Специалисты должны свободно владеть необходимыми для проектирования компьютерными программами. Наиболее широко используются Visio, AutoCAD, Fotoshop, многие программы для расчетов (МСС, РРЛ, зон покрытий базовых станций).

Компьютерные технологии широко используются для проектирования линейных сооружений: работы с топокартами и топопланами, вычерчивания трасс, построения профилей переходов методом прокола и методом

горизонтально-направленного бурения, подсчета объемов работ, составления спецификаций, а также для составления электронных версий документации.

При составлении календарных планов работ, рассчитанных на длительный период, необходимо использовать компьютерную программу Microsoft project, что позволяет составить детальный обоснованный план работ по конкретному объекту, согласованный и скоординированный с обязательствами заказчика, с максимально сжатыми, но реальными сроками, что, в свою очередь, делает работу с заказчиком максимально эффективной.

Все вышеперечисленные меры способствуют как повышению скорости и снижению издержек процесса проектирования, так и повышают его качество.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Портнов Э.Л. Принципы построения первичных кабельных сетей и оптические кабельные линии связи: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 544с.: ил.
2. Портнов Э.Л. Оптические кабели связи их монтаж и измерение. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия-телеком, 2012. – 488 с.: ил.
3. Горлов Н.И., Микиденко А.В., Минина Е.А. Оптические линии связи и пассивные компоненты ВОСП. Учебное пособие. - Новосибирск: СибГУТИ, 2003. – 229 с.
4. Иоргачёв Д.В., Бондаренко О.В. Волоконно-оптические кабели и линии связи. – М.: Эко-Трендз, 2002. – 282 с.
5. Воронцов А.С., Гурин О.И. и др. Оптические кабели связи российского производства. Справочник. - М.: Эко-Трендз, 2003. – 288 с.: ил.
6. Р. Фриман Волоконо-оптические системы связи 3-е дополнительное издание Москва: Техносфера, 2006. -496с.
7. Ксенофонов С.Н., Портнов Э.Л. Направляющие системы электросвязи. Сборник задач: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия-телеком, 2004. – 268 с.: ил.
8. Ефанов В.И. Электрические и волоконно-оптические линии связи: Учебное пособие / В.И. Ефанов. – 3-е изд., доп. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2012. - 149 с.
9. Семенов А.Б. Волоконно-оптические подсистемы современных СКС / Семенов А.Б. – М.: Академия АйТи; ДМК Пресс, 2007. -632с.+88 цв.ил.
10. Ефанов В.И. Сборник задач по волоконно-оптическим линиям связи- Томск: ТУСУР, 2012.– 50с.

Дополнительная литература

11. Р.Р. Убайдуллаев. Волоконно-оптические сети. М. ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000-277с..
12. Гауэр Дж. Оптические системы связи. Пер с англ. под ред. А.И. Ларкина. – М.: Радио и связь 1988 – 504с.
13. Скляр О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи: Учебное пособие. 2-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 272 с.: ил.
14. Слепов Н.Н. Современный технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. – М.: радио и связь, 2000. – 468 с.: ил.
15. Прохоров Д.В. Атмосферные оптические линии связи// «Технологии и средства связи», 2004, №1, сс. 34-39.
16. Волоконно-оптические системы передачи: учебник для вузов / под редакцией В.А. Гомзина.-М.: Радио и связь, 1992- 416 с.

17. Самарский П.А. Основы структурированных кабельных систем / Самарский П.А.–М.: Компания АйТи; ДМК Пресс, 2005. - 216+12с.:ил.
18. Волоконно-оптические системы передачи: вопросы оценки работоспособности / А.Х. Султанов, Р.Г. Усманов, И.А. Шарифгалиев, И.Л. Виноградова. – М.: Радио и связь, 2005. 373с.
19. Иванов А.Б. Волоконная оптика: Компоненты, системы передачи измерения. М. компания Сайрус Системс 1999г. 657с.
20. А.В. Листвин, В.Н.Листвин, Д.В. Швырков Оптические волокна для линии связи – М.: ЛЕСАРарт, 2003. 288с. ил.
21. К. Е. Заславский. Волоконно – оптические системы передачи со спектральным уплотнением ВОСП – DWDM. – Н-ск: СИБГУТИ, 2002.
22. Ефанов В.И. Введение в специальность. Физика и техника оптической связи: Учебное пособие. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2006. – 166 с.
23. Направляющие системы электросвязи: Учебник для вузов. В 2-х томах. Том 1 – Теория передачи и влияния / Под редакцией В.А. Андреева. – 7-е изд., перераб. И доп. – М.: Горячая линии – Телеком, 2009. – 424 с.: ил.
24. Направляющие системы электросвязи: Учебник для вузов. В 2-х томах. Том 2 – Проектирование, строительство и техническая эксплуатация / Под ред. Андреева. – 7-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия - Телеком, 2010. – 424 с.: ил.
25. Оптические телекоммуникационные системы. Учебник для вузов / Под редакцией В.Н. Гордиенко. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 368 с.: ил.

Приложение А

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой
радиотехники (СВЧ и КР)

"УТВЕРЖДАЮ"

Зав. каф. СВЧ и КР

_____ Шарангович С.Н.
"___" _____ 2007г.

ЗАДАНИЕ

на курсовой проект по дисциплине

" Оптические направляющие среды и пассивные компоненты ВОЛС"
студенту гр. _____

1. Тема проекта: **Проектирование волоконно-оптической линии связи**

2. Срок сдачи работы на кафедру: _____ 2007г.
3. Цель проекта: провести расчет магистральной (зоновой, городской) линии связи.
4. Исходные данные для проектирования:
 - 4.1. Назначение ВОЛС (*магистральная, зонавая, городская*).
 - 4.2. Конечные административные пункты трассы и численность населения в них.
 - 4.3. Виды передаваемой информации (*телефонная связь, телеграф, передача данных, 2 программы ТВ, проводное вещание*).
 - 4.4. Энергетический потенциал \mathcal{E} для

- магистральных линий	40 дБ;
- <i>зоновой</i>	36 дБ;
- <i>городской</i>	

32 дБ;
 - 4.5. Скорость передачи определяется, исходя из п.1.2.3., и согласуется с рекомендациями G. 6.702 – 6.704 (PDH).
 - 4.6 Диапазон длин волн (задаётся преподавателем)
5. Рекомендуемая литература:
 - 4.1 Воронцов А.С. и др. Оптические кабели связи российского производства. Справочник. – М.: Эко-Трендз, 2003. – 288 с.: ил.
 - 4.2 Иоргачев Д.В. Бондаренко О.В. Волоконно-оптические кабели и линии связи. – М.: Эко-Трендз, 2002.
 - 4.3 Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. – М.: компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999.
 - 4.4 Портнов Э.Л. Оптические кабели связи: Конструкции и характеристики. – Горячая линия-Телеком, 2002. – 232 с.: ил.

4.5О.К. Скляр. Волоконно-оптические сети и системы связи. – М.: СОЛОМОН-Пресс, 2004. – 272с.:ил.

4.6Р. Фриман. Волоконно-оптические системы связи. – М: Техносфера, 2006. – 496с.

Дополнительную литературу студент ищет самостоятельно.

6. Задачи:

- 6.1. Провести выбор и технико-экономическое обоснование трассы и способа прокладки ОК (рассмотреть несколько элементарных участков: прокладка в кабеля грунте, переход через водоём, прокладка кабеля по ЛЭП, прокладка вдоль железных дорог).
- 6.2. При проектировании учесть климатические (температура воздуха и влажность) и механические воздействия на ОК (вибрационные, ударные добавить характеристики ОК), воздействие электромагнитных полей и разрядов молний.
- 6.3. Провести выбор и обоснование типа ОВ, руководствуясь стандартами ITU G.651 – 655 и исходя из экономической целесообразности.
 - 6.3.1. Определить значения d , D , $ППП$, Δ , $\lambda_{св}$, $\Delta\lambda$, V , диаметр модового поля, длину волны отсечки, затухание и дисперсию ОВ.
 - 6.3.2. Рассчитать основные конструктивные и оптические характеристики ОВ, обеспечивающие выбранный режим работы при относительных отклонениях диаметра d и величины Δ на $\pm 5\%$; $\pm 10\%$...
7. Рассчитать число ОВ в ОК, разработать конструкцию ОК, сделать чертеж ОК и выбрать российский аналог.
8. Обосновать выбор коннекторов, муфт, обеспечивающих соединение строительных длин и ответвителей на промежуточные пункты трассы.
9. Рассчитать длину линейной части регенерационного участка по затуханию и дисперсии с учетом макроизгибов, потерь на стыках строительных длин, муфт и др.
10. Провести расчет надежности ВОЛС.
11. Определить затраты на строительство проектируемой ВОЛС.
12. Рассмотреть возможность применения компенсации дисперсии или оптических усилителей.

Дата выдачи задания

" ____ " _____ 2007г.

Подпись руководителя _____ доц. каф. СВЧ и КР Ефанов В.И.

Подпись студента _____

Приложение Б

ШКАЛА РЕЙТИНГА ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Номера групп 15х Семестр 8 Объем курса всего 187 часа В том числе лекций <u>58</u> практических занятий <u>16</u> лабораторных занятий <u>16</u> самостоятельной работы <u>79</u>		Курс _____4_____ защита с Форма _____отчетности _____оценкой Всего возможно баллов -120 Отлично: 100-120 баллов Хорошо: 80-99 баллов Допуск к защите - 50 баллов	
№	Элемент контроля	Номер недели контроля	Максимальное количество баллов
1	Контрольное собеседование 1 (Анализ технического задания)	26	5
	Контрольное собеседование 2 (Постановка задачи проектирования)	28	5
	Контрольное собеседование 3 (расчёт числа каналов и скорости передачи)	30	5
	Контрольное собеседование 4 (Выбор и обоснование используемого ОВ и ОК)	32	5
	Контрольное собеседование5 (Энергетический потенциал, регенерационный участок)	34	5
	Контрольное собеседование6 (Экономика и надёжность)	36	5
	Контрольное собеседование7 (Оформление работы)	38	5
	Контрольное собеседование8 (Защита)	40	5
2	Содержание пояснительной записки	38	10
3	Оформление пояснительной записки	38	10
4	Оформление чертежей	38	15
5	Уровень использования учебной и специальной	38	13
6	Оригинальные решения	38	12
7	Досрочное представление работы	28	10
8	Уровень доклада	38	10
9	Ответы на вопросы на защите	38	10

Приложение В

Стандарты ОВ и области применения

В **таблице В.1** представлены различные виды оптических волокон, а также области их применения. Конкретный вид волокна выбирается исходя из проектируемой системы связи. Например, для проектирования магистральной линии связи Омск – Новосибирск целесообразней всего использовать одномодовое волокно со смещенной дисперсией.

Таблица В.1 – Стандарты ОВ и области их применения

Волокно			
Многомодовое волокно		Одномодовое волокно	
Стандарт	Область применения	Стандарт	Область применения
MMF 50/125 Градиентное волокно	ЛВС (Ethernet, Fast/Gigabit Ethernet, FDDI, ATM)	SF (NDSF) ступенчатое волокно	Протяженные сети (Ethernet, Fast/Gigabit Ethernet, FDDI, ATM, магистралы SDH)
MMF 62.5/125 Градиентное волокно	ЛВС (Ethernet, Fast/Gigabit Ethernet, FDDI, ATM)	DSF Волокно со смещенной дисперсией	Сверхпротяженные сети, супермагистралы (SDH, ATM)
		NZDSF Волокно с ненулевой смещенной дисперсией	Сверхпротяженные сети, супермагистралы (SDH, ATM), полностью оптические сети

Как видно из **таблицы В.1** многомодовые волокна со ступенчатым профилем показателя преломления в современных системах связи практически не используются. Это является следствием бурного развития методов производства ОВ. Сейчас рентабельность градиентных волокон стала сравнима, а то и выше волокон на основе ступенчатого профиля. Однако во многих функционирующих сетях все еще работают системы, основанные на оптических волокнах со ступенчатым профилем.

Приложение Г

Международные стандарты на ОВ

Параметр	Единица измерения	G. 652	G. 653	G. 654	G. 655
Соответствие стандарту ITU-T					
Геометрические характеристики					
Диаметр оболочки	мкм	125 ± 1			
Некруглость оболочки	%	≤ 0,5...1	≤ 2		≤ 1
Погрешность концентричности сердцевины	мкм	≤ 0,4...0,8	≤ 0,8		≤ 0,1...0,8
Диаметр покрытия	мкм	245 ± 5	245 ± 10		
Погрешность концентричности покрытия	мкм	≤ 12...12,4			
Радиус собственной кривизны	м	≥ 4	≥ 2		≥ 4
Передаточные характеристики					
Рабочий диапазон длин волн	нм	1260...1625	1260...1625	1500...1625	1285...1625
Диаметр модового поля на длине волны 1310 нм 1550 нм	мкм	9-10 ± 10% 9-10 ± 10%	7-8,3 ± 10%	10,5 ± 10%	8-11 ± 10%
Длина волны отсечки в кабеле $\lambda_{сc}$	нм	≤ 1260	≤ 1260	≤ 1350	≤ 1250...1480
Коэффициент затухания на опорной длине волны: 1310 нм 1460 нм 1550 нм 1625 нм	дБ/км	≤ 0,33...0,34 ≤ 0,19...0,21 ≤ 0,20...0,23	≤ 0,4...0,5 ≤ 0,35 ≤ 0,3	≤ 0,22	≤ 0,35...0,5 ≤ 0,2...0,25 ≤ 0,21...0,28
Коэффициент затухания на длине волны гидроксильного пика 1383 ± 3 нм	дБ/км	≤ 0,31...1,0	≤ 0,2	не нормирован	≤ 0,32...1,0
Коэффициент хроматической дисперсии в интервале длин волн: 1285...1330 нм 1460...1625 нм 1530...1565 нм 1565...1625 нм	пс/нм ² ×км			20 (1550нм)	-8,0 2,0...10,4 4,0...13,8
Длина волны нулевой дисперсии λ_0	нм	1310 ± 10	1550 ± 25	1310 ± 10	
Наклон дисперсионной кривой S_0	пс/нм ² ×км	0,093	0,085	0,06	≤ 0,169
Коэффициент поляризационной модовой дисперсии: - протяженная линия	пс/√ ϵ_i	≤ 0,08	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,02...0,1
Прирост коэффициента затухания из-за макроизгибов (100 витков диаметром 75мм) на длине волны 1310 нм 1550 нм 1625 нм	дБ	≤ 0,05 ≤ 0,01...0,05 ≤ 0,01	≤ 0,05		≤ 0,05 ≤ 0,01...0,05 ≤ 0,01
Прирост коэффициента затухания при воздействии факторов окружающей среды на длинах волн 850 нм и 1310 нм: -температуры от -60 до +85°C, -цикл от -10 до +85°C при влажности 98%, -погружение в воду при +23°C, -ускоренное старение при +85°C	дБ/км			≤ 0,05 ≤ 0,05 ≤ 0,05 ≤ 0,05	
Рабочий интервал температур	°C	-60...+85			
Эффективный групповой показатель преломления: 1310 нм 1550 нм	отн. ед.	1,466...1,469 1,4681...1,470	1,4718 1,4711	не нормирован не нормирован	1,465...1,470 1,470
Механические характеристики					
Испытание при растяжении	ГН/м ²	0,7...0,86	0,7		
Параметр динамической усталости	отн. ед.	≤ 20			
Усилие стягивания покрытия	Н	1,3...8,9			

Параметр		Единица измерения	50/125	62,5/125	100/140
Геометрические характеристики					
Диаметр сердцевины		мкм	50,0 ± 3,0	62,5 ± 3,0	100 ± 4
Диаметр оболочки		мкм	125,0 ± 2,0		140 ± 3
Погрешность concentричности сердцевины		мкм	≤ 1,5...3,0		≤ 3
Некруглость сердцевины		%	≤ 5...6		≤ 5
Некруглость оболочки		%	≤ 1...2		≤ 1
Диаметр покрытия		мкм	245 ± 10 500 ± 25		245 ± 10 500 ± 25
Погрешность concentричности покрытия		мкм	≤ 6...12,5		н/д
Передаточные характеристики					
Рабочий диапазон длин волн		нм	850 1300		
Числовая апертура			0,200±0,015	0,275±0,015	0,290±0,015
Коэффициент затухания на длине волны: 850 нм 1310 нм		дБ/км	≤ 2,4...2,8 ≤ 0,6...1,0	≤ 2,4...3,5 ≤ 0,8...1,5	≤ 4,0 ≤ 1,5
Длина волны нулевой дисперсии		нм	1295...1320	1320...1365	1332...1358
Наклон дисперсионной кривой в точке нулевой дисперсии		пс/нм ² ×км	≤ 0,101...0,11	≤ 0,097...0,11	≤ 0,097
Локальные неоднородности затухания в интервале рабочих длин волн 850 и 1310 нм		дБ	≤ 0,2 ≤ 0,08		н/д
Прирост коэффициента затухания на длине волны гидроксильного пика 1383 нм относительно коэффициента затухания на длине волны 1310 нм		дБ/км	≤ 1,5...3,0	≤ 1,0	н/д
Ширина полосы пропускания на длинах волн					
Лазер	850 нм 1310 нм	МГц×км	950...2000 500		
Светодиод	850 нм 1310 нм		300...600 300...600	160...500 200...800	100 100
Пропускная способность: расстояние передачи по протоколу IEEE802.3z на длинах волн: 1 Gigabit Ethernet: 850 нм 1310 нм 10 Gigabit Ethernet, 850 нм			600...1000 600 500	275...500 550...1200	н/д
Прирост коэффициента затухания из-за макроизгибов (100 витков диаметром 75 мм) на длинах волн 850 и 1310 нм		дБ/км	≤ 0,5		н/д
Прирост коэффициента затухания при воздействии факторов окружающей среды на длинах волн 850 нм и 1310 нм: -температуры от -60 до +85°C, -циклов от -10 до +85°C при влажности 98%, -погружения в воду при +23°C, -ускоренного старения при +85°C		дБ/км	≤ 0,2 ≤ 0,2 н/д н/д		н/д
Рабочий интервал температур		°C	- 60...+ 85		н/д
Эффективный групповой показатель преломления на длинах волн: 850 нм 1310 нм		отн. ед.	1,480...1,490 1,386...1,486	1,496...1,482 1,480...1,492	1,497 1,492
Механические характеристики					
Испытание при растяжении		ГН/м ²	0,7		
Параметр динамической усталости		отн. ед.	20		н/д
Усилие стягивания покрытия		Н	2,7...3,2		н/д

Приложение Д

Коэффициенты Селмейера

	Состав в молярных %	A ₁	A ₂	A ₃	μ ₁ , МКМ	μ ₂ , МКМ	μ ₃ , МКМ
1	SiO ₂	0,6961663	0,4079426	0,8974794	0,0684043	0,1162414	9,896161
2	13,5% GeO ₂ 86,5% SiO ₂	0,73454395	0,42710828	0,82103399	0,086976930	0,11195191	10,846540
3	7% GeO ₂ 93% SiO ₂	0,68698290	0,44479505	0,79073512	0,078087582	0,11551840	10,436628
4	4,1% GeO ₂ 95,9% SiO ₂	0,68671749	0,43481505	0,89656582	0,072675189	0,11514351	10,002398
5	9,1% GeO ₂ 7,7% B ₂ O ₃ 83,2% SiO ₂	0,72393884	0,41129541	0,79292034	0,085826532	0,10705260	9,3772959
6	0,1% GeO ₂ 5,4% B ₂ O ₃ 94,5% SiO ₂	0,70420420	0,41289413	0,95238253	0,067974973	0,12147738	9,6436219
7	4,03% GeO ₂ 9,7% B ₂ O ₃ 94,5% SiO ₂	0,69681388	0,40865177	0,89374039	0,070555513	0,11765660	9,8754801
8	13,5% B ₂ O ₃ 86,5% SiO ₂	0,7028554	0,39412616	0,63301929	0,080478054	0,10925792	7,8908063
9*	13,5% B ₂ O ₃ 86,5% SiO ₂ (закалённый)	0,67626834	0,42213113	0,58339770	0,076053015	0,11329618	7,8486094
10	3,1% GeO ₂ 96,9% SiO ₂	0,7024622	0,41463λ07	0,8974540	0,0727723	0,1143085	9,896161
11	3,5% GeO ₂ 96,9% SiO ₂	0,7042038	0,4160032	0,9074049	0,0514415	0,1291600	9,896156
12	5,8% GeO ₂ 94,2% SiO ₂	0,7088876	0,4206803	0,8956551	0,0609053	0,1254514	9,896162
13	7,9% GeO ₂ 92,1% SiO ₂	0,7136824	0,4254807	0,8964226	0,0617167	0,1270814	9,896161
14	3% B ₂ O ₃ 97% SiO ₂	0,6935408	0,4052977	0,9111432	0,0717021	0,1256396	9,896154
15	3,5% B ₂ O ₃ 96,5% SiO ₂	0,6929642	0,4047468	0,9154064	0,0604843	0,1239609	9,896152
16	3,3% GeO ₂ 9,2% B ₂ O ₃ 87,5% SiO ₂	0,6958807	0,4076588	0,9401093	0,0665654	0,12111422	9,896140
17*	2,2% GeO ₂ 3,3% B ₂ O ₃ 94,5% SiO ₂	0,6993390	0,4111269	0,9035275	0,0617482	0,1242404	9,896158
18	SiO ₂ с гасящими добавками	0,696750	0,408218	0,890815	0,069066	0,115662	9,900559
19*	13,5% GeO ₂ 86,5% SiO ₂	0,711040	0,451885	0,704048	0,064270	0,129408	9,425478
20	9,1% P ₂ O ₅ 90,9% SiO ₂	0,69590	0,452497	0,712513	0,061568	0,119921	8,656641
21	13,3% B ₂ O ₃ 86,7% SiO ₂	0,690618	0,401996	0,898817	0,061900	0,123662	9,098960
22	1% F 99% SiO ₂	0,691116	0,399166	0,890423	0,068227	0,116460	9,993707
23	16,9% Na ₂ O 32,5% B ₂ O ₃ 50,6% SiO ₂	0,796468	0,497614	0,358924	0,094359	0,093386	5,999652

Приложение Е

Один из важнейших компонентов, определяющий надежность и долговечность ВОЛС, является волоконно-оптический кабель. На сегодня в мире несколько десятков фирм, производящих оптические кабели различного назначения. Наиболее известные из них: AT&T, General Cable Company (США); Siecog (ФРГ); BICC Cable (Великобритания); Les cables de Lion (Франция); Nokia (Финляндия); NTT, Sumitomo (Япония), Pirelli (Италия).

В **таблице Е.1** приведены ссылки на сайты некоторых производителей ОК.

Таблица Е.1 – Каталоги ВО кабелей

сайт	Название
Http://www.adp.ru/optic/cables/alcatel	Каталог ВО кабелей производства ALTALEC
Http://www.adp.ru/optic/cables/МОНАВК	Каталог ВО кабелей производства МОНАВК/СДТ
Http://www.adp.ru/optic/cables/COMMSOP	Каталог ВО кабелей производства COMMSCOPE
http://www.adp.ru/katalog/optilan	Каталог ВО кабелей производства TELDOR
Http://www.adp.ru/optic/cables/EL_PROV	Каталог ВО кабелей НФ "Электропровод" (Россия)
Http://www.adp.ru/optic/cables/SARANSK	Волоконно-Оптический Кабель "Саранскабель-оптик"

Ниже представлены основные российские заводы производители оптического кабеля

Таблица Е.2 – Заводы производители ОВ

1	<p>СП ЗАО «ОКС 01» г. Санкт-Петербург, Тел: (812) 380-39-01, Факс: (812) 380-39-03. E-mail: office@ocs01.ru</p>	8	<p>ЗАО «Севкабель-Оптик» г. Санкт-Петербург, ТЕЛ.: 812) 329-77-61 E-mail: sko@inbox.ru, sko@sp.ru; http://www.sko.com.ru</p>
2	<p>СП ЗАО «ОФС Связьстрой-1» г. Воронеж, ТЕЛ./ФАКС: (0732) 14-27-95 E-mail: ofssvsl@ofssvsl.ru; http://www.ofssvsl.ru</p>	9	<p>ЗАО «Трансвок» г. Боровск, Тел: (095) 262-06-09, 261-62-05. Факс: (095) 261-61-50 E-mail: transvoc@mail.ru; http://www.transvoc.ru</p>
3	<p>СП ЗАО Москабель-Фуджикура г. Москва, Тел: (095) 728-27-10, 273-83-15. Факс: (095) 728-72-09. E-mail: mk-f@mk-f.ru; http://www.mk-f.ru</p>	10	<p>ЗАО НФ «Электропровод» г. Москва, Тел: (095) 915-21-52, 915-25-19. Факс (095) 915-08-63, 915-29-18 E-mail: mail@electroprovod.ru http://www.electroprovod.ru</p>
4	<p>ЗАО «Самарская оптическая кабельная компания» г. Самара, тел: (8462) 55-25-35, 55-09-63. Факс: (8462) 55-11-91, 55-11-93. E-mail: socc@socom.ru; http://www.socom.ru</p>	11	<p>ЗАО «Сарансккабель-оптика» г. Саранск, Тел: (8342) 17-38-13, 18-02-99. Факс: (8342) 17-38-13. E-mail: optic@sarko.ru; http://www.sarko.ru</p>
5	<p>ООО «Оптен» Санкт-Петербург, Тел: (812) 225-02-86, 226-41-73, Факс: (812) 226-78-72 E-mail: info@opten.spb.ru; http://opten.spb.ru</p>	12	<p>ООО «Эликс – кабель» г. Москва, Тел: (095) 917-17-92, Факс: (095) 916-06-11 E-mail: info@elixcable.ru; http://elixcable.ru</p>
6	<p>ООО «Оптел» г. Москва, Тел: (095) 786-3497, 273-2955, 273-3352. Факс: (095) 234-1725, 788-6807</p>	13	<p>ЗАО «Яуза-кабель» г. Мытищи, Тел./Факс: (095) 583-68-69. http://www.yauzacab.ru</p>
7	<p>ООО «Еврокабель» г. Москва, Тел: (095) 741-6576, 741-6572, E-mail: eurocabel@citylan.ru</p>		

Таблица Е.3 – Продукция производимая заводами

1	СП ЗАО «ОКС 01»	ДПО, ДАО, ДП2, ДА2, ДПМ, ДПТ ДПЛ, ДАС, ДАУ, ДПС, ОПС, ОАС, ОА2
2	СП ЗАО «ОФС Связьстрой-1»	ДКП, ДКН, СКП, СКН, ДП СП, СН, ДН, ДС, ДТ
3	СП ЗАО Москабель-Фуджикура	ОМЗКГМ, ОМЗКГМН, ОМЗКГЦ, ОКСТМ, ОКСТЦ, ОККТЦ, ОКПЦ, ОКСНМ
4	ЗАО «Самарская оптическая кабельная компания»	ОКЛ, ОКЛК, ОКЛСТ, ОКГТ-МТ, ОКЛЖ
5	ООО «Оптен»	ТОС, ТОН, ДПО, ДНО, ДА2, ДВО, ДГП, ДПС, ДГО, ДПУ, ДАУ, ДОТ, ДПМ, СНО, СГО, СПО, ОКСН
6	ООО «Оптел»	ОГД, ОГМ, ОГЦ, ОКД, ОКМ, ОКЦ, ОТД, ОТЛ, ОТЦ, ОСД, ОПД
7	ООО «Еврокабель»	ОГД(Н), ОТД(Н), ОТМ(Н), ОТЦ(Н), ОКЦ(Н), ОКД(Н), ОКМ(Н), ОПС, ОСД
8	ЗАО «Севкабель-Оптик»	ДПО, ДАО, ДПМ, ДПТ, ОПС, ОПУ, ДП2, ДА2
9	ЗАО «Трансвок»	ОКМС, ОКЗ, ОКП, ОКМТ, ОКБ
10	ЗАО НФ «Электропровод»	ОК-М, ОКНБ, ОКНС, ОК, ОК/Т
11	ЗАО «Саранскабель-оптика»	ОКТ, ОКД, ОКП, ОКСн-С, ОКСн-Д, ОКСн-Б, ОКСн-Р, ОКБ, ОКБ-Т, ОКЛ, ОКЛм, ОКГ, ОКК
12	ООО «Эликс – кабель»	БСШ, БДШ, БПСР, БПР, БМСР, БДКШ, ДАО, ДПО, СПО, САО, ДПЛ, СПЛ, ДАЛ, САЛ, ДПС, СПС, ДАС, САС, ДПУ, ДАУ, ДПД, ДПМ, ДП2, ДА2, ДПТ
13	ЗАО «Яуза-кабель»	ОККО, ОКСТМ-10, ОКК, ОКК СН-01, ОК МС 11 ОК МС 06-1, ОК МС 06-2, ОКС, ОККСН

Таблица Е.4 – Примерная таблица соответствия марок ОК разных заводов

Заводы изготовители	ОК для прокладки в грунте		ОК для прокладки в канализации	ОК для прокладки в трубах	Подвесной ОК		Внутри-объектовый
СП ЗАО «ОКС 01»	ДПС	ОПС, ДАУ	ДПЛ	ДПО, ДАО	ДПТ	нет	нет
СП ЗАО «ОФС Связьстрой-1»	ДКП, СКП	нет	нет	ДП, СП	ДС	ДТ	нет
СП ЗАО Москабель-Фуджикура	ОМЗКГМ	ОМЗКГЦ	ОКСТМ	ОККТМ	ОКСНМ, ОКПД	ОКПМ	ОККТМ
ЗАО «Самарская оптическая кабельная компания»	ОКЛК	нет	ОКЛСт	ОКЛ	ОКЛЖ	нет	нет
ООО «Оптен»	ДПС, СПС	ТОС, ТОГ, ТОН,	нет	ДПО, СПО	ДПТ, ДОТ	нет	ДНО, СНО
ООО «Оптел»	ОГД, ОГМ	ОГЦ,	ОТД, ОТМ	ОТЦ,	ОСД	ОПД	нет
ООО «Еврокабель»	ОГД, ОГМ	ОГЦ	ОКД, ОКМ	ОТД, ОТМ	ОСД	ОПД	ОВ
ЗАО «Севкабель-Оптик»	ДАС, ДАУ, ДПС, ДПУ	ОПС ОПУ	ДПЛ, ДПН	ДАО	ДПТ	Нет	ДПО, ДНО
ЗАО «Трансвок»	ОКБ	нет	ОКЗ	нет	ОКМС	нет	нет
ЗАО НФ «Электропровод»	ОКБ-М6Т ОКБ-М6П	нет	ОКС, ОКНС	ОК-М6П	ОКА-М6П	ОК/Т-М6П	ОКВО
ЗАО «Саранскабель-оптика»	ОКБ	ОКБ-Т	ОКЛ	ОКГ	ОКК	нет	ОКГ
ООО «Эликс – кабель»	ДПС	нет	СПЛ, ДПЛ	САО, ДАО	ДПТ	ДПО, СПО	нет
ЗАО «Яуза-кабель»	ОККО	ОККСН	ОКК	нет	нет	нет	ОКС

Приложение Ж

Технические характеристики оптических соединителей

Стандарт		FC	SC		ST	
		FC/PC	SC MM	SC SM	ST MM	ST SM
Физические характеристики						
Тип соединения (фиксация)	Резьба М8х0.75, ключ		Защелка с фиксатором (дизайн push-pull)		Байонетная фиксация с ключом	
Стыковка	Скруглённый торец, физический контакт, плавающий наконечник, конструкция без утягивания кабеля				Скруглённый торец, физический контакт, подружиненный наконечник	
Совместимое волокно	SMF: D/125 мкм	MMF: 50/125; 62.5/125 мкм	SMF: D/125 мкм	MMF: 50/125; 62.5/125 мкм	SMF: D/125 мкм	SMF: D/125 мкм
Оптические характеристики						
Вносимые потери	FLAT	< 1.0 дБ	-	-	-	-
	PC	< 0.5 дБ	< 0.25 дБ	< 0.5 дБ	< 0.7 дБ	< 1.0 дБ
	SPC	< 0.5 дБ	< 0.25 дБ	< 0.5 дБ	-	< 0.7 дБ
	UPC	< 0.5 дБ	-	< 0.5 дБ	-	< 0.7 дБ
	APC	< 0.5 дБ	-	< 0.5 дБ	-	-
Обратные потери	FLAT	-	-	-	-	-
	PC	< -27 дБ	< -22 дБ	< -27 дБ	-	< -30 дБ
	SPC	< -40 дБ	< -36 дБ	< -40 дБ	-	< -40 дБ
	UPC	< -50 дБ	-	< -50 дБ	-	< -50 дБ
	APC	< -60 дБ	-	< -60 дБ	-	-
Примечание						
ЛВС	-	+	+	+	+	
Системы связи	+	-	+	-	+	
Кабельное телевидение	+	-	+	-	-	

Сокращения: SMF – одномодовое волокно, MMF – многомодовое волокно, D – диаметр сердцевины SMF (8-10 мкм).

FC, SC, ST – стандарты оптических соединителей, о них более подробно можно прочитать в [4,10].

Типы контактов (способ подготовки торцов волокна) в оптических соединителях:

PC (Physical Contact) – «физический контакт» предполагает фиксацию оптического волокна в алюминиевом наконечнике. Торец волокна

определенным образом полируется с целью достижения полного контакта торцевых поверхностей;

FLAT (Flat connectors) – плоские коннекторы, подготовка торцевых поверхностей осуществляется путём полировки торца наконечника с укрепленным в нем оптическим волокном перпендикулярно оси волокна;

SPC (Super Physically Contact) – в этих коннекторах для улучшения контакта оптического волокна радиус сердечника был сужен до 20 мкм, а в качестве материала наконечника использовался более мягкий цирконий.

UPC (Ultra Physically Contact) – в коннекторах этого типа полировка осуществляется под контролем сложных и дорогостоящих систем управления.

APC (Angled Physically Contact) – в коннекторах этого типа метод полировки торцов оптических волокон осуществляется под некоторым углом (8-12°) от перпендикуляра к оси волокна.

Более подробную информацию можно найти в Интернете, а также в источниках [4, 10]

Оптическое волокно Corning LEAF®

Магистральные линии связи на волокне LEAF®

В стремлении постоянно повышать скорость работы оптических сетей разработчики испытывают необходимость в технологии, которая бы обеспечивала максимальные возможности по модернизации системы в будущем. Волокно LEAF® компании Corning® предоставляет эту возможность. Волокно LEAF – решение проблем высокоскоростной передачи на магистральных линиях связи сегодня и завтра.

Преимущества большой эффективной площади

Более высокая A_{eff} волокна LEAF® дает возможность увеличить мощность светового сигнала в системе, обеспечивает лучшее соотношение «сигнал-шум» и позволяет увеличить расстояние между усилителями. Появилась возможность более эффективного спектрального уплотнения (DWDM) при большей гибкости использования каналов. Волокно с более высокой A_{eff} обеспечивает также критически важное в условиях эксплуатации преимущество: возможность одновременного уменьшения влияния всех нелинейных искажений (см. рис. 3.1). Как известно, нелинейные явления являются сегодня наиболее серьезным ограничением в многоканальных системах с DWDM.

Следующее поколение

Помимо улучшенных по сравнению с другими волокнами NZ-DSF эксплуатационных показателей в обычном диапазоне (диапазон C: 1530-1565 нм), волокно LEAF® позволяет выйти на новые технологические рубежи в развитии волоконно-оптических сетей и приступить к освоению длинноволнового диапазона (диапазон L: 1565-1625 нм). При эксплуатации в диапазонах C и L волокно LEAF® продемонстрировало свою более высокую способность обеспечивать многоканальную передачу в связи со снижением таких нелинейных явлений, как четырехволновое смешивание, фазовая автомодуляция и перекрестная фазовая модуляция при многоканальной DWDM передаче.

Снижение стоимости сети

Благодаря возможности увеличения дальности передачи оптического сигнала волокно LEAF® требует меньшего числа линейных усилителей и регенераторов, что дает как одномоментную (при сооружении сети), так и долгосрочную экономию. Кроме того, волокно LEAF® совместимо с уже работающими в сети обычными волокнами и оптоэлектронными компонентами. В практическом плане несколько больший диаметр модового пятна приводит к улучшению показателей по сращиванию, особенно в случае соединения со стандартным одномодовым волокном, как, например, SMF-28™ фирмы Corning®. Как и другие волокна Corning LEAF® имеет лучшие в отрасли геометрические параметры. Используя волокно LEAF®, вы можете легко и экономически эффективно повысить информационную емкость своей сети.

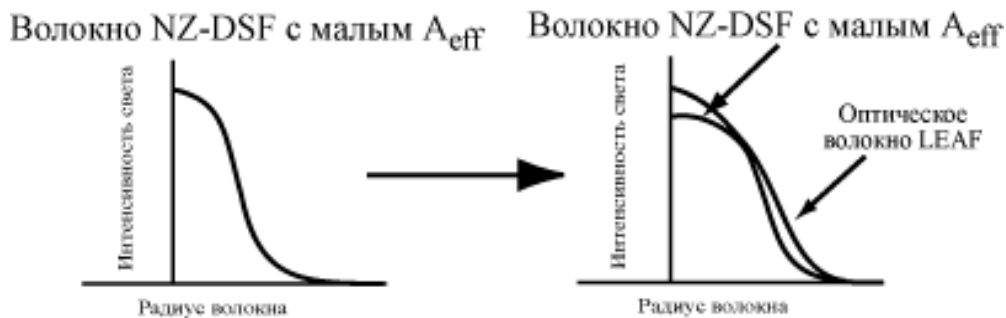


Рис 3.1

Волокно для современных и будущих сетей

Хотя волокно LEAF® прекрасно подходит для работы в системах DWDM при скоростях передачи данных 2,5 Гб/с, оно дает разработчикам сетей возможность использовать имеющиеся в коммерческой продаже 32-канальные DWDM системы со скоростью передачи 10 Гб/с, а также возможность модернизации сети в будущем, когда появятся 40+-канальные и более ёмкие системы со скоростью передачи 10 Гб/с. В дополнение к этому волокно LEAF, отвечающее очень жестким требованиям к поляризационной модовой дисперсии (PMD), создает предпосылки для эксплуатации установленного сегодня волокна при скоростях передачи выше 10 Гб/с. Несмотря на большую площадь A_{eff} волокно LEAF способно работать в системах с рамановским усилением, что позволяет разработчику системы применять самые современные технологии для проектирования и построения сети. Как самое передовое волокно NZ-DS в мире LEAF® готово для технологий будущего, как только Ваша сеть будет готова для них.

Волокно LEAF: неоспоримые преимущества

Благодаря очевидным преимуществам волокна LEAF (большая площадь A_{eff} , наилучшая в отрасли геометрии и принятые во внимание при разработке этого волокна перспективы развития сетей) ему по-прежнему отдают предпочтение при создании современных высокоскоростных сетей, а также полностью оптических сетей будущего. Ведущие высокотехнологические компании, предоставляющие доступ к сетям, уже определили для себя технологию с большим показателем A_{eff} в качестве современной и перспективной базовой технологии для волоконно-оптических сетей с высокими скоростями передачи информации.

Награда за достижения в технологии; Corning Incorporated неоднократно получала награды за запатентованное оптическое волокно LEAF. Независимые группы экспертов выбрали волокно LEAF на основе технических преимуществ. «Ежегодная премия в области техники», учрежденная журналом Fiberoptic Product News; «За достижения в коммерческой технологии», учрежденная журналом Laser Fokus World; «Награда за отличное качество», учрежденная Photonics Spectra Magazine; «Награда R&D 100», учрежденная журналом R&D.

Покрытие: Волокно LEAF имеет защитное покрытие CPC™, обеспечивающее длительный срок эксплуатации. Разработанное фирмой Corning усовершенствованное двухслойное акрилатное покрытие CPC обеспечивает

надежную защиту и удобство при работе с волокном. Покрытия СРС могут удаляться механическим способом и имеют наружный диаметр 245 мкм. Покрытия СРС оптимизированы для применения в различных кабельных конструкциях с использованием одного или многих волокон, включая трубки со свободной укладкой, ленты из волокон, профилированный сердечник и плотно наложенные трубки.

Оптические характеристики

Затухание: $\leq 0,22$ дБ/км в диапазоне 1550 нм; $\leq 0,24$ дБ/км в диапазоне 1625 нм. Точечная неоднородность затухания не превышает 0,10 дБ в диапазоне 1550 нм. Затухание в диапазоне 1383 ± 3 нм не должно превышать 1,0 дБ/км.

Зависимость затухания сигнала от длины волны

Длина волны (нм)	Опорная длина волны λ (нм)	Макс. прирост α (дБ/км)
1525-1575	1550	0,05
1625	1550	0,05

Затухание в данном диапазоне не превышает затухания на опорной длине волны (λ) более чем на величину α .

Зависимость затухания сигнала от величины изгиба

Диаметр оправки (мм)	Число витков	Длина волны (нм)	Прирост затухания (дБ)
32	1	1550 и 1625	$\leq 0,50$
75	100	1550 и 1625	$\leq 0,05$

Приросты затухания вызваны наматыванием волокна оправки указанного выше диаметра.

Диаметр медового пятна: от 9,2 до 10,00 мкм в диапазоне 1550 нм

Дисперсия: Полная дисперсия: от 2,0 до 6,0 псек/(нм·км) в диапазоне от 1530 до 1565 нм, от 4,5 до 11,2 псек/(нм·км) в диапазоне от 1565 до 1625 нм.

Дисперсия поляризованной моды (PMD) волокна

	Величина (нсек/ $\sqrt{\text{км}}$)
Величина PMD связи	$\leq 0,04^*$
Максимальная величина для отдельного волокна	$\leq 0,1$

* Соответствует требованиям IEC SC 86A/WG1, Метод 1, сентябрь 1997 г. (n=24, Q=0,1%).

«Величина PMD протяженной линии» – термин, используемый для описания PMD наращенных отрезков волокна (известна также под названием – «среднеквадратичная величина связи»). Эта величина используется для определения верхнего статистического предела, характеризующего PMD системы. Фактические значения PMD могут изменяться для волокна,

уложенного в кабеле. Технические характеристики волокна Corning соответствуют еще только формулируемым сегодня требованиям по разработке сетей с повышенными скоростями передачи: от 10 Гб/с (TDM) и выше.

Воздействие окружающей среды

Условия испытаний	Прирост затухания, дБ/км в диапазоне 1550 нм
Температурная зависимость от -60°C до +85°C*	≤0,05
Циклическое изменение температуры от -10°C до +85°C*, при относительной влажности до 38%	≤ 0,05
Погружение в воду при 23°C	≤0,05
Старение при повышенной температуре, 65°C	≤ 0,05

Рабочий диапазон температур: от -60°C до +85°C

* Эталонная температура = +23°C,

Размерные характеристики

*Стандартная длина (км на катушку): 4,4 - 50,4**

* По запросу может быть поставлено волокно большей длины.

Геометрия стекла

Собственный изгиб волокна: радиус изгиба $\geq 4,0$ м.

Диаметр оболочки: 125,0±07 мкм

Неконцентричность сердцевины и оболочки: $\leq 0,5$ мкм

Некруглость сечения оболочки: $\leq 1\%$

Определение: $\left[1 - \frac{\text{Мин.диаметр оболочки}}{\text{Макс.диаметр оболочки}} \right] \times 100$

Геометрия покрытия

Диаметр покрытия: 245±5 мкм

Неконцентричность покрытия и оболочки: < 12 мкм

Расчет дисперсии

$$\text{Дисперсия} = D(\lambda) = \left[\frac{D(1565 \text{ нм}) - D(1530 \text{ нм})}{35} (\lambda - 1565) \right] + D(1565 \text{ нм})$$

λ = рабочей длине волны, вплоть до 1565 нм

$$\text{Дисперсия} = D(\lambda) = \left[\frac{D(1625 \text{ нм}) - D(1565 \text{ нм})}{35} (\lambda - 1625) \right] + D(1625 \text{ нм})$$

λ = рабочей длине волны в диапазоне от 1565 до 1625 нм

Механические характеристики

Перемотка волокна с натяжением

Волокно полностью перемотано с натяжением $\geq 0,7$ ГПа*

* По запросу может быть поставлено волокно, испытанное при более высоких значениях натяжения.

Эксплуатационные параметры

Приводимые величины являются типовыми.

Эффективная площадь (A_{eff}): 72 мкм²

Эффективный групповой показатель преломления (N_{eff}): 1,469 в диапазоне 1550 нм

Усталостная прочность (n_d): 20

Усилие снятия покрытия

В сухом состоянии: 0,6 фунта (3,0 Н)

Во влажном состоянии (выдержка в воде при комнатной температуре на протяжении двух недель): 0,6 фунта (3,0 Н)

Волокно MetroCor™ производства Corning®

Волокно с отрицательной дисперсией, оптимизированное для применения в городских сетях

Волокно MetroCor™ компании Corning предназначено для применения в городских сетях и сетях средней протяженности, где необходимо обеспечить высокую пропускную способность при низких затратах. Являясь волокном со смещенной ненулевой дисперсией, оптимизированным для применения в высокоскоростных системах, в которых используется технология спектрального уплотнения (WDM), волокно MetroCor работает в окне эрбиевых волоконно-оптических усилителей (erbium-doped fiber amplifier – EDFA). Низкая отрицательная дисперсия этого типа волокна существенно снижает эксплуатационные затраты в оптических сетях.

Потребности городских сетей

Для увеличения надежности и уменьшения расходов на строительство городские оптические сети обычно имеют кольцевую структуру. По сравнению со стандартным одномодовым волокном низкая отрицательная дисперсия волокна MetroCor™ позволяет увеличить размер колец за счет возможности передавать оптические сигналы на большее расстояние без компенсации дисперсии. Это увеличенное расстояние обеспечивает дальнейшее снижение стоимости внутригородской сети с кольцевой архитектурой. Волокно MetroCor™ обеспечивает передачу и на 2,5 Гб/с и на 10 Гб/с, и его низкая дисперсия в традиционном спектральном диапазоне C (1530-1565 нм) и диапазоне длинных волн L (1570-1610 нм) позволяет использовать WDM высокой плотности. По мере роста требований к пропускной способности сетей и вызванной этим модернизации прозрачные WDM сети получают все большее распространение, что делает волокно MetroCor™ наилучшим выбором для удовлетворения будущих потребностей во внутригородских сетях.

Волокно MetroCor™ повышает эффективность современных систем передачи

Используя самые передовые исследования и разработки, компания Corning создала волокно MetroCor™ для работы с недорогими компонентами. Волокно MetroCor™ позволяет использовать недорогие лазеры с прямой модуляцией и распределенной обратной связью (directly modulated distributed

feedback – DM – DFB), которые обычно обладают сильным положительным «чирпом». Волокно MetroCor позволяет увеличить расстояние, доступное для использования DM-DFB-лазеров, обеспечивая сжатие оптических импульсов при их распространении по линии. Специалисты компании Corning доказали, что благодаря отрицательной дисперсии в волокне дальность передачи резко увеличивается без использования дорогих модулей компенсации дисперсии (dispersion compensation modules – DCM).

Волокно MetroCor™ и прозрачные городские сети завтрашнего дня

Возможность гибкого изменения сетевой конфигурации с применением спектрально-селективных оптических коммутаторов (wavelength selective cross connects – WSXC) и спектральных мультиплексоров ввода/вывода длин волн (wavelength add/drop multiplexers – WDM) позволяет уменьшить затраты, устранив ненужные преобразования оптического сигнала в электрической и обратно (O-E-O) и обеспечив возможность реконфигурации. Расстояния, проходимые оптическим сигналом по городским оптическим сетям будущего, превысят пределы дисперсионных ограничений стандартного одномодового волокна. Благодаря оптимизации дисперсии волокно MetroCor™ значительно увеличивает расстояние передачи, не усложняя ее применением дорогих лазеров.

Награда за достижения в области технологии

Волокно MetroCor™ было удостоено награды Photonics Circle of Excellence Award журнала Photonic Spectra за 2000 г. Эта престижная награда отмечает самые выдающиеся достижения в области новых технологий, основанных на новаторстве и заслугах в этих областях, и является свидетельством признания роли компании Corning в продвижении не рынок одной из наиболее высокотехнологичных продукций этого года.

Оптические характеристики

Затухание

$\leq 0,50$ дБ/км при 1310 нм

$\leq 0,25$ дБ/км при 1550 нм

$\leq 0,25$ дБ/км при 1605 нм

Точечные неоднородности

Отсутствуют ступеньки более 0,10 дБ на 1310 нм или 1550 нм.

Затухание в пике воды

Затухание на 1383 ± 3 нм не превышает 0,40 дБ/км.

Затухание в зависимости от длины волны

Диапазон (нм)	Опорная длина волны λ (нм)	Макс. прироста α (дБ/км)
1285-1330	1310	0,05
1525-1605	1550	0,05

Затухание в данном спектральном диапазоне не превышает затухание на опорной длине волны (λ) более, чем на величину α . Во всех случаях при 1550 нм и 1605 нм максимальное затухание $\leq 0,25$ дБ/км.

Затухание при изгибе

Диаметр сердечника (мм)	Число витков	Длина волны (нм)	Прирост затухания* (дБ)
32	1	1550 и 1605	$\leq 0,50$
75	100	1310	$\leq 0,05$
75	100	1560 и 1605	$\leq 0,10$

* Прирост затухания, вызванный намоткой волокна вокруг оправки определенного диаметра.

Длина волны отсечки в кабеле (λ_{cd})

$$\lambda_{cd} \leq 1550 \text{ нм}$$

Диаметр модового поля (MFD)

$$7,60 \text{ мкм} \leq \text{MFD} \leq 8,60 \text{ мкм на } 1550 \text{ нм}$$

Дисперсия

Полная дисперсия: $-10,0 \leq D \leq -1,0$ пс/(нм·км) в пределах от 1530 до 1605 нм

Поляризационная подовая дисперсия (PMD) волокна

	Величина (пс/ $\sqrt{\text{км}}$)
Ветчина PMD в линии	$\leq 0,1^*$
Максимальная величина для отдельного волокна	$\leq 0,2$

* Удовлетворяет требованиям IEC SC 86A/WG1, метод 1, сентябрь 1997 г.

•Поляризационная дисперсия линии» – это термин, описывающий поляризационную дисперсию нескольких соединенных длин волокна (также известный как среднеквадратичная дисперсия). Эта величина используется для определения статистического верхнего предела параметра PMD системы. Величина поляризационной модовой дисперсии волокна может измениться после изготовления кабеля. Спецификации компании Corning удовлетворяют современным требованиям к архитектуре оптических сетей с высотой плотностью передачи, работающих на скорости 10 Гб/с (TDM) и выше.

Климатические характеристики

Условия климатических испытаний	Прирост затухания (дБ/км), 1550 нм
Температурная зависимость от -60°C до $+85^\circ\text{C}^*$	$\leq 0,05$
Циклическое изменение температуры от -10°C до $+85^\circ\text{C}^*$ При относительной влажности до 98%	$\leq 0,05$
Испытание погружением в воду, 23°C	$\leq 0,05$
Зависимость старения от температуры, 85°C^*	$\leq 0,05$

* Контрольная температура = $+23^\circ\text{C}$.

Диапазон рабочих температур: от -60°C до $+85^\circ\text{C}$.

Размеры

Стандартная длина (км/катушка): 2,2-25,2*

* Нестандартные длины могут быть предоставлены по запросу покупателя за дополнительную плату.

Геометрия стекла

- Собственный изгиб волокна $\leq 4,0$ м
- Диаметр оболочки: $125,0 \pm 1,0$ мкм
- Неконцентричность сердцевины/оболочки: $\leq 0,5$ мкм
- Некруглость оболочки: $\leq 1,0\%$

Определяется как: $\left[1 - \frac{\text{Мин.диаметр оболочки}}{\text{Макс.диаметр оболочки}} \right] \times 100$

Защитное покрытие

Диаметр защитного покрытия: 245 ± 5 мкм

Неконцентричность защитного покрытия/оболочки: ≤ 12 мкм

Механические характеристики

Испытание на перемотку с натяжением

Все волокно полностью перемотано с натяжением ≥ 100 kpsl ($0,7$ ГН\м²)*.

* Волокно, перемотанное при более высоких уровнях натяжения, может быть поставлено по специальному запросу.

Пример рабочих характеристик

Приведенные параметры являются типовыми.

Эффективный групповой показатель преломления (N_{eff}): 1,469 при 1550 нм

Параметр динамической усталостной прочности (n_d): 20

Усилие для удаления защитного покрытия

В сухом состоянии: 23°C: 0,6 фунта (2,7 Н)

Дисперсия = $D(\lambda) = \left[\frac{D(1605 \text{ нм}) - D(1530 \text{ нм})}{75} (\lambda - 1605) \right] + D(1605 \text{ нм})$

λ = Рабочая длина волны от 1530 до 1605 нм

Приложение И

Сравнение средней стоимости строительства 1-го км оптического кабеля емкостью от 8 до 24 волокон.

Емкость кабеля	Стоимость кабеля в у.е.	Стоимость СМР в у.е.	Стоимость проектирования в у.е.	Стоимость землеотвода в у.е.	Общая стоимость в у.е.	Увеличение стоимости в сравнении с 8-ми волоконным кабелем	Увеличение стоимости относительно предыдущего кабеля
8	1478,4	7000	1500	500	10478,4		
12	1717,2	7000	1500	500	10717,2	2,3%	2,3%
16	2014,8	7000	1500	500	11014,8	5,1%	2,8%
24	2469	7000	1500	500	11469	9,5%	4,1%

Показатель		I	II	III	IV
Стоимость строительно-монтажных работ	у.е.	991,7	1137,5	1733,3	1900,0
Стоимость кабеля	у.е.	1754,2	1708,3	2375,0	2375,0
Стоимость металлоконструкций	у.е.	-	-	433,3	433,3
Стоимость железобетонных изделий	у.е.	-	-	12,5	54,2
Стоимость полиэтиленовой трубки	у.е.	-	812,5	-	-
Стоимость прочих материалов	у.е.	175,0	408,3	395,8	650,0
ВСЕГО	у.е.	2920,8	4066,7	4950,0	5412,5

Приложение К

Рекомендации МСЭ-Т

Волоконно-оптические системы, в которых оптический сигнал передается на одной длине волны, называются одноволновыми. Параметры одноволновых регламентированы нормами рекомендаций МСЭ-Т Рек. G. 957. Такие системы волоконно-оптических линий связи, в основном предназначенные для городских и региональных сетей, строятся по конфигурации, представленной на рис. К.1.

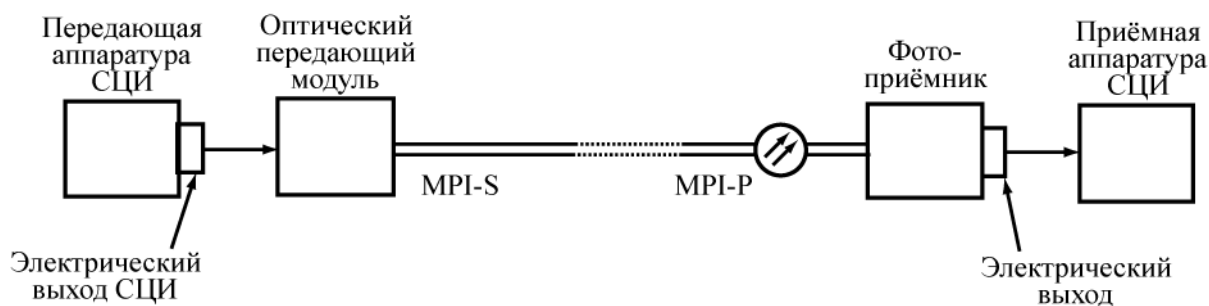


Рисунок К.1 - Конфигурация ВОСП СЦИ по Рек. G.957

Магистральные одноволновые волоконно-оптические системы передачи рассчитаны для передачи цифровой информации с большими скоростями, чем в городских сетях, и параметры таких систем регламентируются нормами МСЭ-Т Рек. G.691. Сами же системы передачи строятся по конфигурации, представленной на рис. К.2.

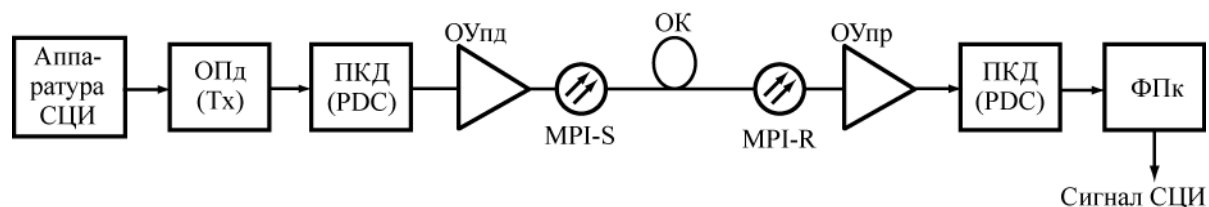


Рисунок К.2 - Конфигурация ВОСП-СЦИ по Рек. G.691

Принцип работы такой системы следующий: цифровой электрический сигнал с выхода аппаратуры СЦИ подается на вход оптического передатчика ОПд (Tx) в цифровом коде NRZ. После преобразования в ОПд оптический цифровой сигнал в том же коде NRZ через предварительный компенсатор хроматической дисперсии ПКД (PDC) подается на вход оптического усилителя мощности. С выхода этого усилителя в контрольной точке MPI-S оптический сигнал, усиленный по мощности, до уровня не более +17 дБм (50 мВт) передается в линию, т.е. в оптическое волокно, входящее в состав оптического кабеля. На выходе линии (элементарного кабельного участка — ЭКУ) в точке приема MPI-R оптический сигнал поступает на вход оптического усилителя (предусилитель ОУпр). С его выхода через пассивный компенсатор хроматической дисперсии сигнал поступает на оптический вход приемной аппаратуры СЦИ. В документе Рек. G.691 рассмотрены три варианта конфигураций:

- а) без оптических усилителей и компенсаторов дисперсии, тогда схема вырождается в конфигурацию на рис. К.2 – в этом случае длина ЭКУ 40 км;
- б) с усилителем приема, при этом длина линии равна 80 км;
- в) с усилителем передачи ОУпд, компенсатором дисперсии и усилителем приема ОУпр. При такой конфигурации длина ЭКУ равна 120 км.

Указанные длины ЭКУ могут считаться максимальными только для иерархии STM-256. Для более низких скоростей передачи длина ЭКУ может быть существенно большей: для STM-64 — 160 км, для STM-16 — 250 км.

Объектом исследования в данном курсовом проекте является волоконно-оптическая линия связи (ВОЛС).

Приложение Л

П Е Р Е Ч Е Н Ь нормативно-технической документации по проектированию ВОЛС

1. Основные положения развития Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации до 2005 года. - М., Минсвязи России, 1996г.
2. Положение о порядке координации работ по развитию Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации. - Одобрено решением ГКЭС при Минсвязи России от 30.08.95, №126. Введено в действие 01.03.96, №145.
3. ГОСТ 21.101-97. Системы проектной документации для строительства. Основные требования к рабочей документации. - М., 1996г.
4. СНиП 11-01-95. Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений Российской Федерации. - М., Решение ГКЭС России, 1995.
5. ВСН 111-93. Инструкция по проектированию линейно-кабельных сооружений связи. - М., 1993.
6. Технические указания по проектированию, строительству и эксплуатации кабельных линий связи в районах вечной мерзлоты. - М., 1981.
7. ГОСТ 21.406-88. Система проектной документации для строительства. Проводные средства связи. Обозначения условные графические на схемах и планах. - М., 1997г.
8. ВСН 332-93. Ведомственные строительные нормы. Инструкция по проектированию электроустановок предприятий и сооружений электросвязи, проводного вещания, радиовещания и телевидения - М., 1993г.
9. ВСН 116-2002. Ведомственные строительные нормы. Инструкция по проектированию линейно-кабельных сооружений связи - М., Минсвязи России, 2002г.
- 10.ВНТП 112-98. Ведомственные нормы технологического проектирования. Городские и сельские телефонные сети. - М., Госкомсвязи России, 1998г.
- 11.ВНТП 113-86. Ведомственные нормы технологического проектирования. Проводные средства связи. Станции и узлы телеграфные и передачи данных. - М., Минсвязи СССР, 1986г.
- 12.ВНТП 111-86. Ведомственные нормы технологического проектирования. Проводные средства связи. Станции междугородные. - М., Минсвязи СССР, 1986г.
- 13.Правила применения оптических кабелей связи, пассивных оптических устройств и устройстве для сварки оптических волокон. Утверждены Мининформсвязи РФ 19.04.06
- 14.О перспективе использования волоконно-оптического кабеля, подвешенного на опорах высоковольтных линий электропередачи для организации магистральных и зонавых сетей связи. - Решение ГКЭС при Минсвязи РФ №56 от 27.10.96.

- 15.Руководство по защите оптических кабелей от ударов молнии. - М., Минсвязи России, 1996г.
- 16.РД.45.200-2001. Применение волоконно-оптических средств на сетях доступа. Рук.тех.материал.
- 17.РД 45.186-2001. Аппаратура волоконно-оптических усилителей для применения на взаимоувязанной сети связи Российской Федерации. ТТ.
- 18.РД 45.286-2002. Аппаратура волоконно-оптической системы передачи со спектральным разделением. ТТ.
- 19.РД 45.120-2000. Нормы технологического проектирования. Городские и сельские телефонные сети.

Приложение М

І. ГОСТ 28439-90 АППАРАТУРА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ПО ЛИНИЯМ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ЦИФРОВАЯ.

Общие технические требования - ТРЕБОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ

1. Назначенный ресурс аппаратуры линейного тракта - не менее 20 лет, с учетом срока хранения.
2. Средняя наработка на отказ (T_0) канала связи, содержащего оконечную аппаратуру и 8 регенераторов - не менее 50000 ч.
3. Среднее время восстановления на одну неисправность линейного тракта - не более 30 мин (без учета времени подъезда к месту повреждения и подготовки места установки регенератора для безопасной работы людей при пользовании ЗИП).
4. Средний срок сохраняемости (T_c) в отапливаемых помещениях должен быть не менее 5 лет.

Примечание. Надежность изделий по результатам испытаний на надежность должна оцениваться при доверительной вероятности $g = 0,8$, риске поставщика $a = 0,2$, риске заказчика $b = 0,2$.

ІІ. ВЕДОМСТВЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ линейно-кабельных сооружений связи

Надежность магистральных кабельных линий связи

1. В проектах на строительство магистральных кабельных линий связи первичной сети ВСС России после принятия основных решений на стадии проекта следует произвести расчет надежности работы линейных сооружений по "Методике расчета показателей надежности магистральных кабельных линий связи", Минсвязи СССР.

2. Магистральные кабельные линии связи должны соответствовать следующим основным нормативным показателям по надежности их работы:

наработка на отказ на 100 км линии передачи не ниже $T_0 = 34375$ час;

коэффициент простоя - не выше $K_{\text{п}} = 2,55 \cdot 10^{-4}$;

коэффициент готовности - не ниже $K_{\text{г}} = 0,99970$.

3. В случае, если в результате произведенного расчета, показатели надежности проектируемых магистральных кабельных линий связи не будут удовлетворять нормам [п.2](#), необходимо пересмотреть отдельные проектные решения в части:

выноски кабельной линии за пределы населенных пунктов;

обхода обвальных и селевых мест;

резервирования переходов через водные преграды;

замены электрических и оптических кабелей на более грозостойкие на участках трасс с высокой грозодеятельностью и плотностью аварий от ударов молний; б прокладки кабеля с круглой проволоочной броней на участках с многолетнемерзлыми грунтами.

Учебное издание

В.И. Ефанов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Учебно-методическое пособие для выполнения курсового проекта
по дисциплине «Оптические линии связи
и пассивные компоненты ВОЛС» для студентов направлений подготовки
Радиотехника – 210300, Телекоммуникации - 210400

Формат 60x84 1/16. Усл. печ. л. -----
Тираж --- экз. Заказ -----.

Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники.
634050, Томск, пр. Ленина, 40.
Тел. (3822) 533018